

## **Automatizace montážní linky pro kontrolu brzdy vnitřní převodovky**

Automation of the assembly line for checking the brake  
of the internal gearbox

**Bc. Jakub Dostal**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.

Ostrava, 2021

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Zdeňku Slaninovi, Ph.D. za cenné rady a poznámky, kolegům ze zaměstnání a také mé rodině za ohromnou podporu.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací přípravy pro automatizaci pracovní linky s cílem manipulace s ověřovaným dílem pro zajištění vhodné testovací polohy. Test funkce bude provedena na brzdovém systému vnitřní převodovky. Popisuje návrh a provedení zakládání do testovacího přípravku, dále rozebírá komunikaci mezi komponentami řídicího systému, návrh a implementaci pro PLC, vizualizaci a zpracování dokumentace. V závěru této práce jsou shrnuty dosažené výsledky řešení a celkové zhodnocení.

## **Klíčová slova**

Automatizace, PLC, programovatelný logický automat, vizualizace, HMI, Mitsubishi, EPLAN

## **Abstract**

This diploma thesis describes the design and implementation of a preparation for the an automation of work lines with an aim of manipulating a verified part to ensure a suitable test position. The test function will be performed on braking system of internal gear. It describes the design and implementation of the test product, further discusses the communication between the components of the control system, design and implementation for PLC, visualization and processing of documentation. At the end of this work, the achieved results of the solution and the overall evaluation are summarized.

## **Keywords**

Automation, PLC, programmable logic controller, visualization, HMI, Mitsubishi, EPLAN

# Obsah

<b>Seznam použitých symbolů a zkratk .....</b>	<b>7</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>8</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>9</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Návrh poloautomatického zakládání do testovacího stroje .....</b>	<b>11</b>
1.1. Popis původního stavu linky a testovaného kusu .....	11
1.1.1. Původní postup práce.....	13
1.2. Návrh a realizace nového testovacího přípravku .....	14
1.2.1. Realizace testovacího přípravku .....	16
1.3. Návrh a realizace pomocného rozvaděče .....	17
1.3.1. Karta GT-12DF [7] .....	18
1.3.2. Karta GT-226F [8] .....	19
1.3.3. Realizace pomocného rozvaděče .....	20
1.4. Návrh a realizace změn v hlavním rozvaděči.....	21
1.4.1. Realizace změn v hlavním rozvaděči .....	22
<b>2. Návrh a realizace komunikace mezi komponentami řídicího systému .....</b>	<b>23</b>
2.1. CC-Link.....	23
2.2. Struktura komunikujících komponentů.....	24
2.3. Nastavení hlavní jednotky systému CC-Link Mitsubishi A1SJ61BT11 v hlavním rozvaděči...	26
2.4. Nastavení síťového adaptéru Crevis GN-9231 v pomocném rozvaděči .....	26
<b>3. Návrh a implementace řízení pro PLC .....</b>	<b>27</b>
3.1. Ladder Diagram podle normy IEC 61131-3 .....	27
3.2. Hardwarová konfigurace .....	28
3.3. Proměnné .....	29
3.4. Princip programu .....	30
3.5. Struktura programu.....	31

<b>4. Návrh a realizace vizualizace .....</b>	<b>32</b>
4.1. Obrazovka manuálního ovládání.....	32
4.2. Obrazovka s počítadlem kusů.....	32
<b>5. Zhodnocení výsledků.....</b>	<b>33</b>
5.1. Srovnání efektivity.....	35
5.2. Srovnání výsledného postupu práce .....	37
5.3. Případný návrh dalšího postupu.....	38
<b>Literatura.....</b>	<b>39</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>I</b>

## Seznam použitých symbolů a zkratek

BPCM	Brake performance checker machine (Název testovací linky)
BUS	Sběrnice
CD	Compact disc (Kompaktní disk)
HDLC	High-level Data Link Control (Vysokoúrovňové řízení datového spoje)
HMI	Human machine interface (Rozhraní pro komunikaci s člověkem)
HW	Hardware
IEC	International Electrotechnical Commission (Mezinárodní elektrotechnická komise)
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
PLC	Programmable logic controller (Programovatelný logický automat)
RL	Rotation high speed (Rychlá rotace)
RH	Rotation low speed (Pomalá rotace)
SMC	Zkratka pro pneumatické prvky pro průmyslovou automatizaci výrobce z Japonska
STF	Forward rotation start (Start rotace vpřed)
STR	Reverse rotation start (Start rotace vzad)
UML	Unified Modeling Language (Unifikovaný modelovací jazyk)

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Náboj vnitřní převodovky s ovládací pákou .....	11
Obrázek 2 – Čelní pohled na testovací linku .....	12
Obrázek 3 – Detail na zasazující patici.....	13
Obrázek 4 – Původní verze testovacího přípravku.....	13
Obrázek 5 – Návrh testovací linky .....	14
Obrázek 6 – Návrh nového testovacího přípravku.....	15
Obrázek 7 – Usazení nového testovacího přípravku .....	16
Obrázek 8 – Rozvržení rozvodné skříně v programu EPLAN .....	17
Obrázek 9 – Zapojený pomocný rozvaděč .....	20
Obrázek 10 – Zapojené přidané frekvenční měniče FR-D720S-014SC-EC.....	22
Obrázek 11 – Propojení komponent .....	24
Obrázek 12 – Popis UNITRONIC BUS CC [6].....	24
Obrázek 13 – Struktura Crevis komponentů [6].....	25
Obrázek 14 – Přepínače pro nastavení parametrů .....	26
Obrázek 15 – Přepínače pro nastavení parametrů .....	26
Obrázek 16 – Hlavní jednotka PLC a její moduly .....	28
Obrázek 17 – Diagram aktivit (automatický režim).....	30
Obrázek 18 – Obrazovka s manuálním ovládáním.....	32
Obrázek 19 – Obrazovka s počítadlem výroby .....	32
Obrázek 20 – Graf výkonnosti před provedením změn .....	36
Obrázek 21 – Graf výkonnosti po provedení změn .....	36
Obrázek 22 – Možný návrh pro další vylepšení.....	38
Obrázek 23 – Schéma SMC prvků.....	II
Obrázek 24 – EPLAN – Rozložení pomocného rozvaděče .....	III
Obrázek 25 – EPLAN – Napájení pomocného rozvaděče + vstup do GT-12DF .....	IV
Obrázek 26 – EPLAN – Výstupy z GT-226F do SMC bloku SS5Y3-10 pomocí D-Sub.....	V
Obrázek 27 – EPLAN – Frekvenční měniče .....	VI
Obrázek 28 – EPLAN – Frekvenční měnič (levý) – řídicí signály.....	VII
Obrázek 29 – EPLAN – Frekvenční měnič (pravý) – řídicí signály .....	VIII
Obrázek 30 – Hlavní rozvaděč v zadní části stroje .....	IX
Obrázek 31 – Zapojené svorky frekvenčního měniče.....	X



## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Seznam použitých SMC prvků .....	14
Tabulka 2 – Seznam použitých senzorů.....	15
Tabulka 3 – Seznam použitých komponentů .....	18
Tabulka 4 – Seznam vstupů ze senzorů do karty GT-12DF.....	18
Tabulka 5 – Seznam výstupů z karty GT-226F do SMC SS5Y3-10 kabelem D-Sub.....	19
Tabulka 6 – Seznam použitých komponentů .....	21
Tabulka 7 – Seznam výstupů PLC pro frekvenční měnič levého přípravku .....	21
Tabulka 8 – Seznam výstupů PLC pro frekvenční měnič pravého přípravku.....	21
Tabulka 9 – Vztahy mezi přenosovou rychlostí a vzdáleností [9].....	23
Tabulka 10 – Popis pinů G-Bus [6].....	25
Tabulka 11 – Hardwarová konfigurace.....	28
Tabulka 12 – Tabulka proměnných .....	29
Tabulka 13 – Struktura programu .....	31
Tabulka 14 – Porovnání dat před a po provedení změn .....	35
Tabulka 15 – Srovnání výsledného postupu práce.....	37

## Úvod

Cílem této diplomové práce je doplnění pracovní linky o vylepšení, která by zvýšila efektivitu práce a odlehčila by jejímu operátorovi při složitém manuálním vyhledávání pozice pro založení převodovky do testovacího přípravku a také snížila velkou svalovou zátěž (3500kg/směna). Dalším důvodem pro toto vylepšení je, že na poli práce je nedostatek mužů, kteří by tuto namáhavou práci vykonávali, tudíž po dokončení změn by tuto práci mohly vykonávat také ženy.

První kapitola se věnuje popisu pracovní linky a návrhu a realizaci dílčích částí. Konkrétně se jedná o návrh a realizace nového testovacího přípravku, návrh a realizace pomocného rozvaděče a návrh a realizace změn v hlavním rozvaděči linky. V první části jsou popsány přidané pneumatické prvky, kterými jsou dvojčinné válce různé velikosti a použité senzory. V další části je probrán návrh a provedení pomocného rozvaděče, v němž budou uloženy karty vzdálených vstupů a výstupů, ke kterým budou připojeny přidané senzory a SMC blok pro ovládání regulačních řídicích ventilů. Poslední z dílčích částí této kapitoly se zaměřuje na hlavní (stávající) rozvaděč pracovní linky, do kterého je nutné přivést sběrníkový kabel propojující pomocný rozvaděč s tím hlavním. Dále se zde přidají dva frekvenční měniče pro ovládání pohybu otáčení osy, pomocí které se testují brzdy v převodovkách.

Další kapitola pojednává o komunikaci mezi komponentami řídicího systému. Čtenář se zde seznámí s komunikačním standardem CC-Link pro průmyslovou automatizaci, dále nahlédne do struktury komunikujících komponentů a na závěr této části shrne použité nastavení hlavní jednotky CC-link v hlavním rozvaděči a síťového adaptéru Crevis v pomocném rozvaděči.

Třetí kapitola se zaměřuje na návrh a implementaci řízení pro PLC. Na začátku této kapitoly je stručný popis programovacího jazyku LD podle normy IEC61131-3 a hned vzápětí je uvedena hardwarová konfigurace použitá v hlavním rozvaděči. Dále je zde sestavená tabulka použitých pomocných proměnných, a nakonec je popsán princip programu (manuální/automatický) a jeho struktura.

V další kapitole je uveden návrh a realizace vizualizace. Jsou zde zobrazeny ukázky uživatelského prostředí, pomocí kterého si operátor dokáže zobrazit údaje například o kusech, které prošly testováním v pořádku a naopak nikoliv. Dále je zde uvedena obrazovka s manuálním ovládáním, kde si operátor může např. při údržbě spínat či rozpínat pneumatické ventily.

Závěrečná kapitola se věnuje dosaženým výsledkům, srovnáním efektivitu pomocí firemního systému Status monitoring, srovnáním postupů práce a případným návrhům dalšího vylepšení.

## 1. Návrh poloautomatického zakládání do testovacího stroje

Celkový návrh zakládání je rozdělen do několika dílčích částí. První z nich je popis původního stavu pracovní linky a její funkce, dále návrh a realizace nového testovacího přípravku, návrh a realizace pomocného rozvaděče, a nakonec návrh a realizace změn v hlavním rozvaděči.

Ve výsledku se tedy nebude jednat o zcela automatizovaný proces testování, nýbrž o proces poloautomatický, jelikož tam pořád figuruje operátor, který bude jako vstup vkládat náboj k testování a po skončení jej bude opět odebírat.

### 1.1. Popis původního stavu linky a testovaného kusu

Tato pracovní linka s názvem Brake performance checker machine (zkráceně BPCM), jak už sám název napovídá, má za úkol kontrolovat brzdovou funkci. Konkrétně se jedná o kontrolu brzdy vnitřní převodovky. Takováto brzda (Obrázek 1 – Náboj vnitřní převodovky s ovládací pákou) funguje na principu proti-šlapací brzdy (brzdí při sešlápnutí pedálu směrem dozadu) a vyskytuje v zadní části cyklistických kolech. Náboj je umístěn v ose na zadním kole, páka pro ovládání vnitřní brzdy je uchycena ve vodorovné poloze k rámu kola.

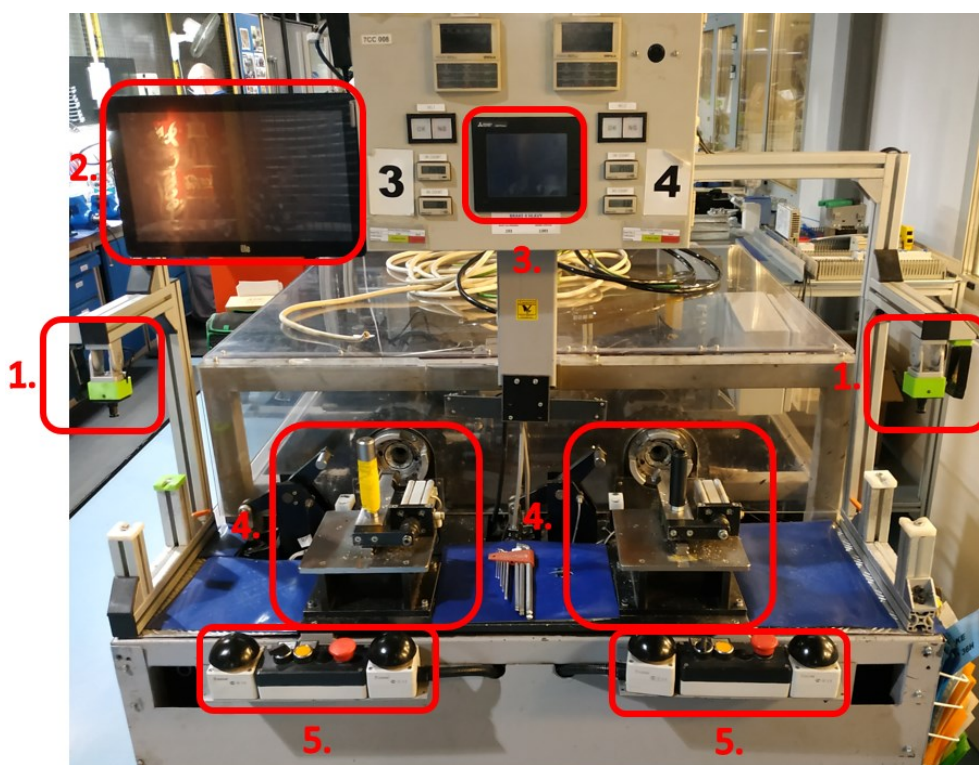


*Obrázek 1 – Náboj vnitřní převodovky s ovládací pákou*

Na následujícím obrázku (Obrázek 2 – Čelní pohled na testovací linku) je vidět pracovní linka, která má za úkol otestovat funkci takovéto proti-šlapací brzdy. Linka se skládá ze dvou testovacích stanovišť, tudíž mohou testovat dvě brzdy zároveň. Dále je zde kamera s obrazovkou pro čtení výrobního čísla, panel, na němž se nachází počítadlo kusů, světelný indikátor výsledku testu (dobrý/špatný výsledek testu), ovládací dotyková obrazovka HMI Mitsubishi a sada tlačítek pro ovládání chodu linky – dvojruční bezpečnostní ovládací tlačítka pro start testovací sekvence, červené tlačítko nouzového zastavení, žluté krokovací tlačítko a černý přepínač automatického režimu.

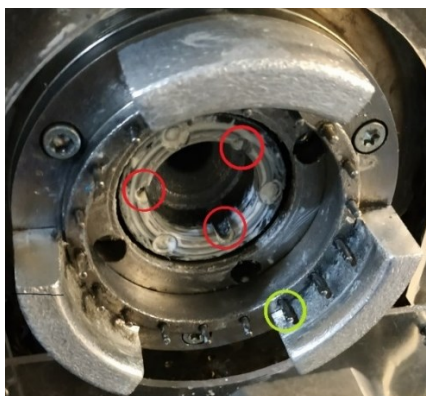
### Popis k obrázku (Obrázek 2)

1. Kamera snímající výrobní číslo převodovky
2. Obrazovka zobrazující načtené výrobní číslo
3. Dotyková obrazovka HMI Mitsubishi
4. Testovací přípravek (levý a pravý)
5. Ovládací panel s tlačítky



Obrázek 2 – Čelní pohled na testovací linku

Zde je vidět detail na patici (Obrázek 3 – Detail na zasazující patici), do které se převodovka zasazuje. Patice se skládá z 18 pinů umístěných po obvodu (na obrázku je vyznačen jeden pin zelenou barvou), které zapadají do 18 děr v obvodu náboje a slouží k uchycení celého náboje a jeho následného otáčení. Po upevnění v zadní části kola slouží díry v náboji pro drátový výplet kola. V červených kruzích je vyznačena trojice výřezů v otáčivé ose a slouží k zapadnutí drážek v ose náboje.

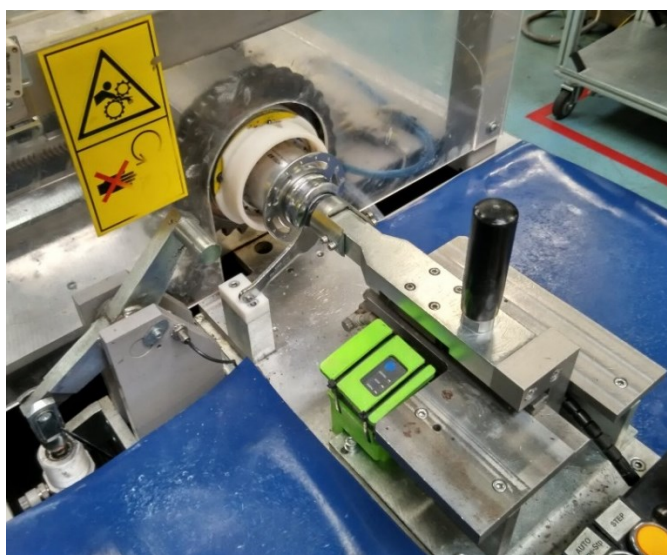


Obrázek 3 – Detail na zasazující patici

#### 1.1.1. Původní postup práce

Na následujícím obrázku (Obrázek 4 – Původní verze testovacího přípravku) jsou vidět jednotlivé prvky původního testovacího přípravku: převodovka, upnutá ke stroji, páka pro ovládání brzdy, opřená o podpěru a madlo, pomocí kterého je převodovka přitlačena k patici.

Původní postup práce se tedy odehrával tak, že operátor vzal z postranního úložného boxu jeden kus převodovky, u kterého pomocí snímací kamery po stranách stroje načetl výrobní číslo vypálené laserem na ose náboje. Poté tento kus přiložil k testovací patici, nasune obvodové díry náboje na piny otáčivé osy stroje a opakovanou manipulací s pákou pro ovládání brzdy se snažil najít polohu, při které by převodovka zapadla do jednotlivých třech výřezů. Při nalezení této polohy přitlačí pomocí madla převodovku k patici a otočí páku ovládající vnitřní brzdu proti směru hodinových ručiček a opře ji o podpěru. Poté už jen spustí proces testování pomocí bezpečnostního obouručního ovládání a vyčká na konec testu. Otestované kusy opět vyjme z přípravku a uloží do jiného postranního úložného boxu.



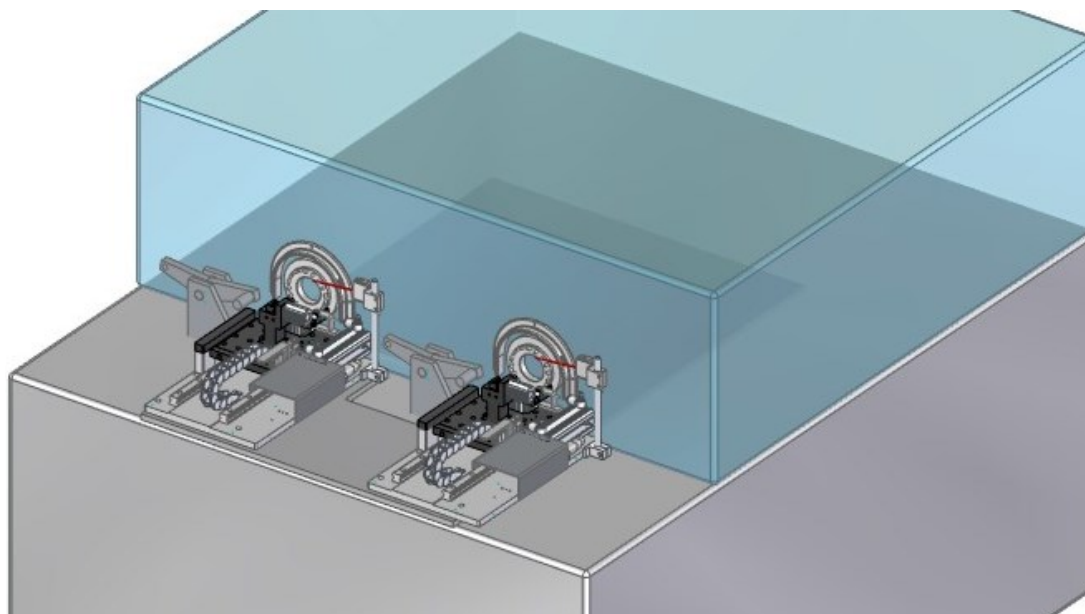
Obrázek 4 – Původní verze testovacího přípravku

Stávající řešení pro vyhledávání polohy pro zapadnutí do třech drážek je při častém opakování neefektivní a fyzicky náročné, proto vyvstal tento požadavek, aby se tento postup ulehčil a zjednodušil postup a umožnil tak, aby tuto linku obsluhovaly i ženy.

## 1.2. Návrh a realizace nového testovacího přípravku

Během návrhu nového testovacího přípravku se muselo vzít v úvahu co všechno od něj očekáváme. Účelem nového přípravku mělo být, aby se z části vyhledávání správné pozice, samotné zasazení převodovky do patice a následně její otestování provádělo automaticky.

Při těchto požadavcích bylo nutné navrhnout zcela nové testovací přípravky, neboť původní byly pro tuto aplikaci nevyhovující. Na následujícím obrázku (Obrázek 5 – Návrh testovací linky) je možné vidět celkový pohled na model linky a návrh nových testovacích přípravků.



Obrázek 5 – Návrh testovací linky

Nový testovací přípravek se skládá z pevné základny, na které se nachází jeden pár kolejnic. Na kolejnicích je upevněné pohyblivé lůžko, které slouží pro uložení převodovky. Pohyb lůžka po kolejnicích vpřed a vzad je realizován dvojčinným vzduchem ovládaným válcem SMC CD55B32. Dalšími válci jsou SMC MXZ12, který slouží pro přizvednutí přední části převodovky a SMC CDQ2A16, který je zde pro aretaci převodovky v lůžku. Seznam použitých pneumatických prvků na novém přípravku je v následující tabulce (Tabulka 1 – Seznam použitých SMC prvků).

### SMC prvky

Tabulka 1 – Seznam použitých SMC prvků

Název	Popis
SMC CD55B32	Dvojčinný vzduchem ovládaný válec
SMC CDQ2A16	Dvojčinný vzduchem ovládaný válec
SMC MXZ12	Dvojčinný vzduchem ovládaný kompaktní válec



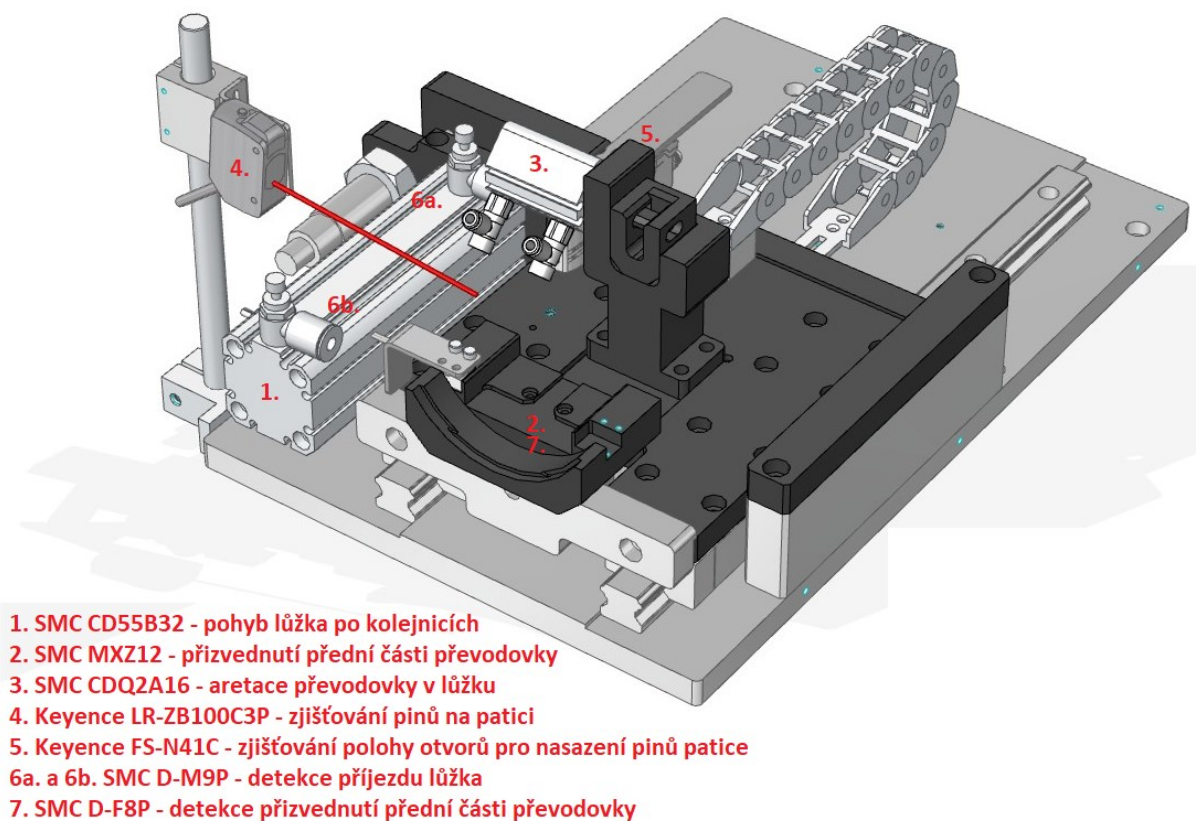
Dále jsou zde senzory (Tabulka 2 – Seznam použitých senzorů). První z nich je laserový senzor Keyence LR-ZB100C3P, zjišťující polohu pinů na patici. Dalším je zesilovač optického vlákna Keyence FS-N41C, který slouží pro zjištění polohy otvorů pro nasazení pinů patice. Senzor polohy SMC D-M9P je umístěn na obou koncích válce SMC CD55B32 a slouží k detekci příjezdu pohyblivého lůžka na nastavenou polohu. Jako poslední je použit senzor polohy SMC D-F8P, jež je umístěn ve válci SMC MXZ12 a slouží zde pro detekci přizvednutí přední části převodovky na lůžku.

Celkový pohled na navrhnutý nový testovací přípravek s popisem všech jeho částí je na následujícím obrázku (Obrázek 6 – Návrh nového testovacího přípravku).

### Seznam senzorů

Tabulka 2 – Seznam použitých senzorů

Název	Popis
LR-ZB100C3P	Laserový senzor založený na měření vzdálenosti
FS-N41C	Zesilovač optického vlákna
SMC D-F8P	Senzor polohy
SMC D-M9P	Senzor polohy



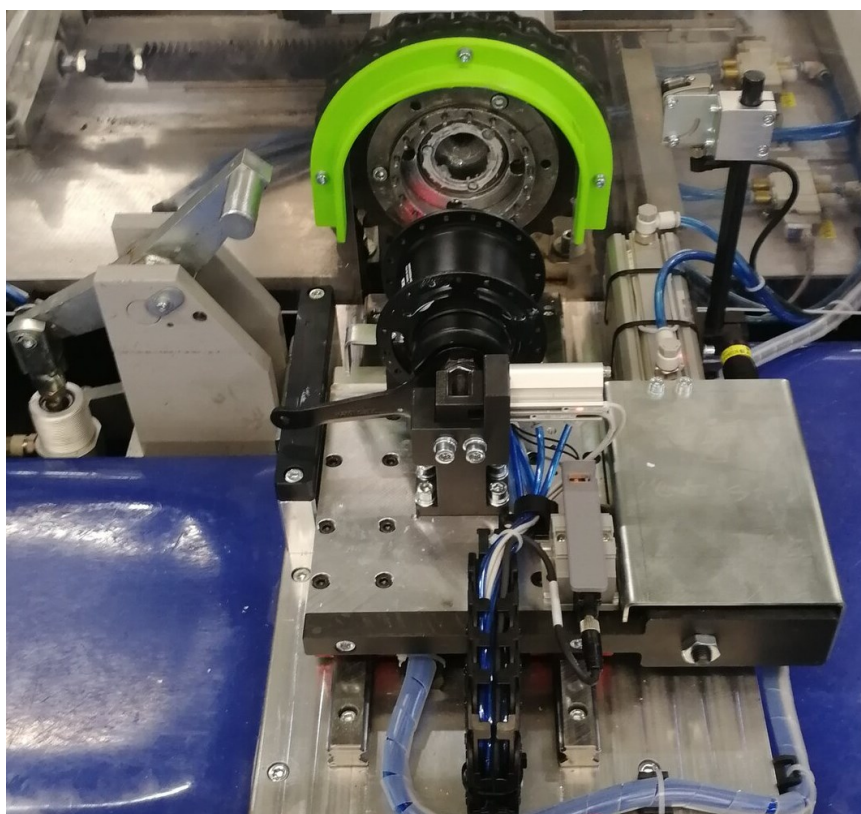
Obrázek 6 – Návrh nového testovacího přípravku

### 1.2.1. Realizace testovacího přípravku

Po zpracování návrhu se vyhotovila cenová nabídka pro jednotlivé součásti a díly, která se následně vystavila dodavatelům. Po dodání všech komponentů se mohlo začít se sestavováním nového přípravku. Aby bylo sestavování všech částí snazší, byl návrh vytištěn jako předloha na papír.

Při sestavování se muselo dát pozor, aby se nezapomnělo použít společně se šroubem a podložkou pro zajištění spoje také pérovou podložku, jelikož kvůli vibracím by hrozilo povolení spojů. Po dokončení práce se přípravek upevnil k testovací lince (Obrázek 7 – Usazení nového testovacího přípravku).

Dalším krokem bylo propojit pneumatické prvky a senzory na přípravku s pomocným rozvaděčem. Vzduchové hadice a propojovací kabely byly z pohyblivého lůžka svázány k sobě a vyvedeny přes vodící řetěz pro kabelové svazky. Dále jsou vedeny ve spirálové bužírce a také v kabelovém žlabu. V pomocném rozvaděči se vzduchové hadice připojily k regulačním řídicím ventilům a kabely od jednotlivých senzorů ke vstupní kartě.



*Obrázek 7 – Usazení nového testovacího přípravku*



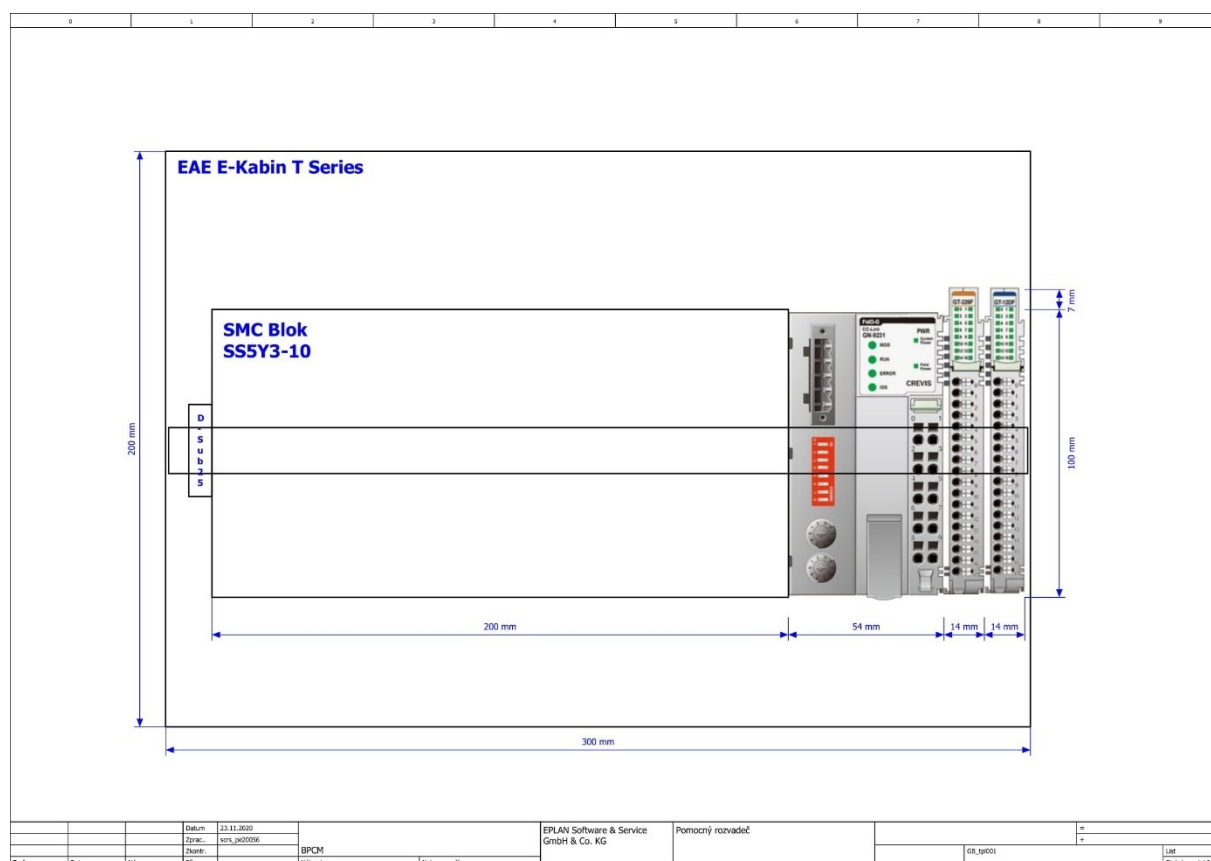
### 1.3. Návrh a realizace pomocného rozvaděče

Tento projekt, tak jak byl navržen, vyžadoval ke své funkci nainstalování nového pomocného rozvaděče, který by pojmul přidané hardwarové prvky.

SMC blok (SS5Y3-10), který se v tomto rozvaděči nachází, je rozvodnou základnou pro regulační řídicí ventily SMC SY3400-5UF1 a SMC SY3200-5UF1. Tyto ventily ovládaly pneumatické válce umístěné na novém testovacím přípravku.

Dále se zde nachází síťový adaptér Crevis GN-9231 [6], ke kterému jsou připojeny na G-Bus sběrnici digitální vstupní (GT-12DF) a výstupní (GT-226F) karty. Do vstupní karty byly přivedeny všechny senzory z testovacího přípravku (senzory polohy v SMC válcích, laserový senzor Keyence a zesilovač optického vlákna Keyence) a do výstupní karty D-Sub 25 kabel, který vede do SMC bloku a ovládá pomocí signálů regulační řídicí ventily. Seznam všech použitých komponentů v pomocné rozvodné skříni je v následující tabulce (Tabulka 3 – Seznam použitých komponentů).

Návrh a rozložení skříň pomocného rozvaděče (Obrázek 8 – Rozvržení rozvodné skříň v programu EPLAN) byl proveden v programu EPLAN Electric P8, verze 2.8. Samotná rozvodová skříň má označení EAE E-Kabin T Series a má rozměry 300x200 mm.



Obrázek 8 – Rozvržení rozvodné skříně v programu EPLAN

Tabulka 3 – Seznam použitých komponentů

Položka	Množství	Popis
Crevis GN-9231	1	CC-LINK Network Adapter
Crevis GT-12DF	1	16 DI
Crevis GT-226F	1	16 DO
Unitronic BUS CC	5m	Sběrníkový kabel CC-Link
D-Sub konektor 25	0,5m	Sériový kabel
SMC SS5Y3-10	1	Rozvodný ventilový blok
SMC SY3400-5UF1	2	Ventil
SMC SY3200-5UF1	6	Ventil

Pozn.: Poslední dva ze šesti řídicích ventilů SMC SY3200-5UF1 jsou rezervní.

### 1.3.1. Karta GT-12DF [7]

V následující tabulce (Tabulka 4 – Seznam vstupů ze senzorů do karty GT-12DF) je vypsán seznam signálů ze senzorů putujících do vstupní karty GT-12DF. Vstupy X0 až X6 patří levému testovacímu přípravku, X8 až X14 pravému přípravku a na vstup X17 je přivedeno 0V. Vstupy X7, X15 a X17 jsou nezapojeny.

Tabulka 4 – Seznam vstupů ze senzorů do karty GT-12DF

Vstup	Označení	Název	Orientace
X0	X_HoleH1	FSN41C	Levý testovací přípravek
X1	X_SliderActivatedH1	CD55B32	
X2	X_SliderDeactivatedH1	CD55B32	
X3	X_ElevatorActivatedH1	MXZ12	
X4	X_FixActivatedH1	CDQ2A16	
X5	X_FixDeactivatedH1	CDQ2A16	
X6	X_PinH1	LR-ZB100C3P	
X7	Nezapojeno		
X8	X_HoleH2	FSN41C	Pravý testovací přípravek
X9	X_SliderActivatedH2	CD55B32	
X10	X_SliderDeactivatedH2	CD55B32	
X11	X_ElevatorActivatedH2	MXZ12	
X12	X_FixActivatedH2	CDQ2A16	
X13	X_FixDeactivatedH2	CDQ2A16	
X14	X_PinH2	LR-ZB100C3P	
X15	Nezapojeno		
X16	Nezapojeno		
X17	0V	300	

### 1.3.2. Karta GT-226F [8]

V následující tabulce (Tabulka 5 – Seznam výstupů z karty GT-226F do SMC SS5Y3-10 kabelem D-Sub) je vypsán seznam výstupních signálů do řídicího SMC bloku. Jsou zde přiřazeny jednotlivé piny výstupní karty GT-226F k číslu pinu konektoru a barvě kabelu D-Sub 25. Všechny výstupy byly využity kromě výstupu Y16, který zůstal nezapojen, tudíž se lze považovat za rezervní.

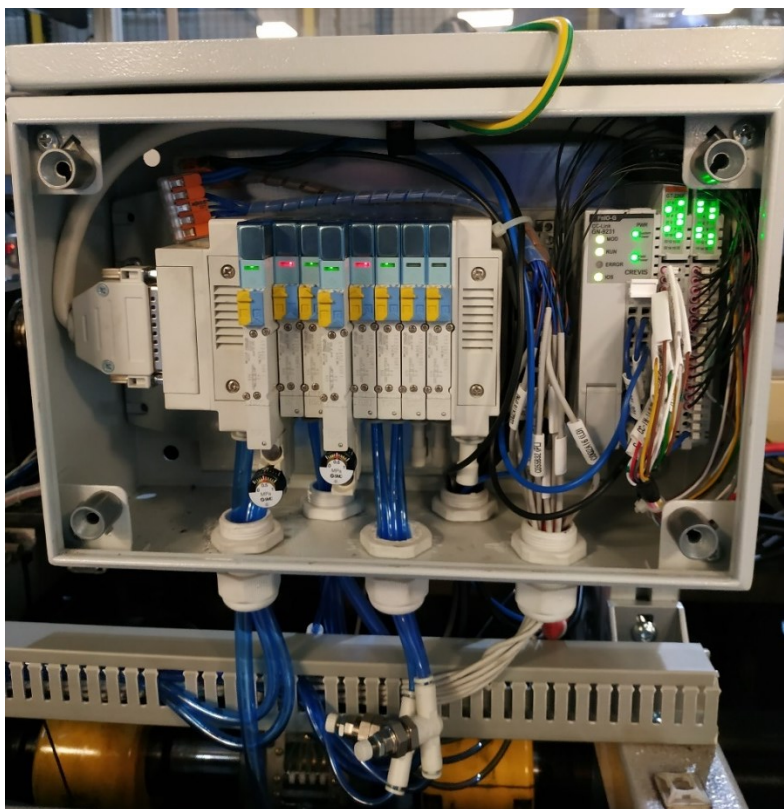
*Tabulka 5 – Seznam výstupů z karty GT-226F do SMC SS5Y3-10 kabelem D-Sub*

Výstup	Číslo pinu konektoru D-Sub 25	Barva kabelu D-Sub 25
Y0	1	Bílý
Y1	14	Hnědo-zelený
Y2	2	Hnědý
Y3	15	Bílo-žlutý
Y4	3	Zelený
Y5	16	Žluto-hnědý
Y6	4	Žlutý
Y7	17	Bílo-šedý
Y8	5	Šedý
Y9	18	Šedo-hnědý
Y10	6	Růžový
Y11	19	Bílo-růžový
Y12	7	Modrý
Y13	20	Růžovo-hnědý
Y14	8	Červený
Y15	21	Bílo-modrý
Y16		Nezapojeno
Y17	13	Bílo-zelený

### 1.3.3. Realizace pomocného rozvaděče

Nejprve bylo potřeba v rozvodné skříni upevnit DIN lištu, na které budou všechny komponenty upevněny. Dále bylo nutné vyvrtat otvory pro průchodky, přes které bude do rozvaděče dovedena veškerá kabeláž a vzduchové hadičky. Pak už stačilo komponenty nacvaknout na lištu. Vše se muselo promyslet dopředu, jelikož uvnitř skříně bylo minimum místa navíc, tudíž se vše dělalo na milimetry. Takto stísněná skříň byla zvolena z toho důvodu, protože její následné umístění uvnitř pracovní linky neumožňovalo výběr prostornější varianty.

Po usazení všech prvků v rozvaděči jej bylo nutné upevnit ve vnitřním prostoru pracovní linky. Pro napájecí svorkovnici už nezbylo místo, takže se napájecí kabely propojily pomocí WAGO svorek. Jako další následovalo napojení vstupní a výstupní karty Crevis a přivedení vzduchových hadic do příslušných bloků. Hadičky byly dodatečně doplněny o škrtkové ventily, kterými lze regulovat tlak proudícího vzduchu do pneumatických válců. Zapojený a usazený pomocný rozvaděč ve vnitřním prostoru linky je zobrazen na následujícím obrázku (Obrázek 9 – Zapojený pomocný rozvaděč).



Obrázek 9 – Zapojený pomocný rozvaděč

## 1.4. Návrh a realizace změn v hlavním rozvaděči

Hlavní rozvaděč se nacházel v zadní části pracovní linky a nacházely se zde všechny silové a ovládací komponenty, včetně PLC Mitsubishi A1SJHCPU a ovládání motorů. Nicméně motory, které otáčeli osou, na jejímž konci jsou výřezy pro zapadnutí testované převodovky, musely být ovládány s určitou přesností. K tomu byly vybrány dva frekvenční měniče (jeden pro každou stranu linky) značky Mitsubishi, konkrétní typ je uvedený v následující tabulce (Tabulka 6 – Seznam použitých komponentů).

*Tabulka 6 – Seznam použitých komponentů*

Položka	Množství	Popis
Mitsubishi Electric FR-D720S-014SC-EC	2	Frekvenční měnič

Nejprve bylo třeba vše nakreslit v programu EPLAN Electric P8, verze 2.8. Jako první bylo nakresleno napájení frekvenčních měničů a jejich výstup na motory. Dále bylo nakresleno propojení ovládacích signálů z PLC do řídicího obvodu.

Po navržnutí elektrických schémat se v řídicím obvodě zapojily vstupní signály pro řízení, jimiž byly vstupy STF, STR, RH, RL, SD a PC. Pro spuštění otáčení vpřed slouží vstup STF a otáčení vzad vstup STR, pro volbu rychlosti otáčení zase vstup RH (vysoká rychlost) a RL (nízká rychlost), na vstup PC se přivedla svorka 301 (+24VDC) a svorka RH je připojena na společnou svorku SD. Propojka, která udává typ logiky (Sink/Source), byla připojena na Sink. V následující tabulce (Tabulka 7 – Seznam výstupů PLC pro frekvenční měnič levého přípravku) jsou vidět, kam byly signály pro ovládání frekvenčního měniče připojeny.

*Tabulka 7 – Seznam výstupů PLC pro frekvenční měnič levého přípravku*

PLC OUTPUT	FR-D720S INPUT (levý)
Y00A-3	STF
Y00B-3	STR
Y01E	RL

Pro popis frekvenčního měniče pravého přípravku platí to samé, jsou zde zapojeny stejné ovládací signály jako na levém měniči. V následující tabulce (Tabulka 8 – Seznam výstupů PLC pro frekvenční měnič pravého přípravku) jsou opět vidět, kam byly signály pro ovládání frekvenčního měniče připojeny.

*Tabulka 8 – Seznam výstupů PLC pro frekvenční měnič pravého přípravku*

PLC OUTPUT	FR-D720S INPUT (pravý)
Y00A-1	STF
Y00B-1	STR
Y01F	RL

#### 1.4.1. Realizace změn v hlavním rozvaděči

Prvním krokem bylo zorientování v uspořádání jednotlivých prvků v rozvaděči. Po bližším prozkoumání byly přívodní kabely motorů, jak pro levou (U12, V12, W12 a PE), tak pro pravou (U22, V22, W22 a PE) osu odpojeny od ovládacích motorových stykačů a připojení těchto kabelů umístěno na správné kontakty frekvenčních měničů. Dále byly zapojeny kontakty pro napájení měničů. Ochranným prvkem je zde 10A dvojitý jistič. Zapojení ovládacích signálů je popsáno výše v návrhu změn.

Pro přivedení napájení do pomocné rozvodné skříně, bylo nutné zjistit kde se nachází napěťový zdroj pro 24VDC a jestli má vyvedené nějaké rezervní svorky. Naštěstí tyto rezervní svorky byly vyvedené, tak se zde připojilo napájení pro pomocnou skříň a také svorka PC z měniče.

Jako poslední stačilo propojit komunikační sběrnice kabel z hlavní jednotky systému CC-Link a vzdáleného síťového adaptéru Crevis, nacházejícího se v pomocné skříni.

Zapojené a usazené frekvenční měniče na vnitřní boční straně hlavní rozvodné skříně je vidět na následujícím obrázku (Obrázek 10 – Zapojené přidané frekvenční měniče FR-D720S-014SC-EC).



Obrázek 10 – Zapojené přidané frekvenční měniče FR-D720S-014SC-EC

## 2. Návrh a realizace komunikace mezi komponentami řídicího systému

Tato kapitola se věnuje návrhu a realizaci komunikace mezi komponentami řídicího systému. Na úvod je stručně popsán již stávající komunikační standard CC-Link, dále je zde popsána struktura komunikujících komponentů a poslední dvě části se věnují nastavení parametrů pro hlavní jednotku systému CC-Link Mitsubishi A1SJ61BT11 v hlavním rozvaděči a síťový adaptér Crevis GN-9231 v pomocném rozvaděči.

### 2.1. CC-Link

Control & Communication Link [12], zkráceně CC-Link, je otevřená komunikační sběrnice pro průmyslovou automatizaci (přenáší kontrolní i informační data). Správu tohoto otevřeného komunikačního standardu spravuje globální organizace uživatelů CLPA (CC-Link Partner Association), jež má pobočky po celém světě. Dále je popsán jako standard ISO 1574-5 [23] pod názvem Industrial automation systems and integration — Open systems application integration framework — Part 5: Reference description for HDLC-based control systems (Průmyslové automatizační systémy a integrace – Rámec integrace aplikací otevřených systémů – Část 5: Referenční popis řídicích systémů založených na HDLC).

Je k mání v několika různých variantách. V základu je jeho rychlost přenosu dat až 10Mbit/s na 100 metrů. Se vzrůstající vzdáleností až do 1200 metrů jeho rychlost klesá. Maximální délku vedení lze ještě zvýšit kabelovými opakovači. Detailní popis vztahů mezi rychlostí přenosu a vzdáleností je uveden v následujícím obrázku (Tabulka 9 – Vztahy mezi přenosovou rychlostí a vzdáleností). Dále umožňuje komunikaci až se 64 zařízeními.

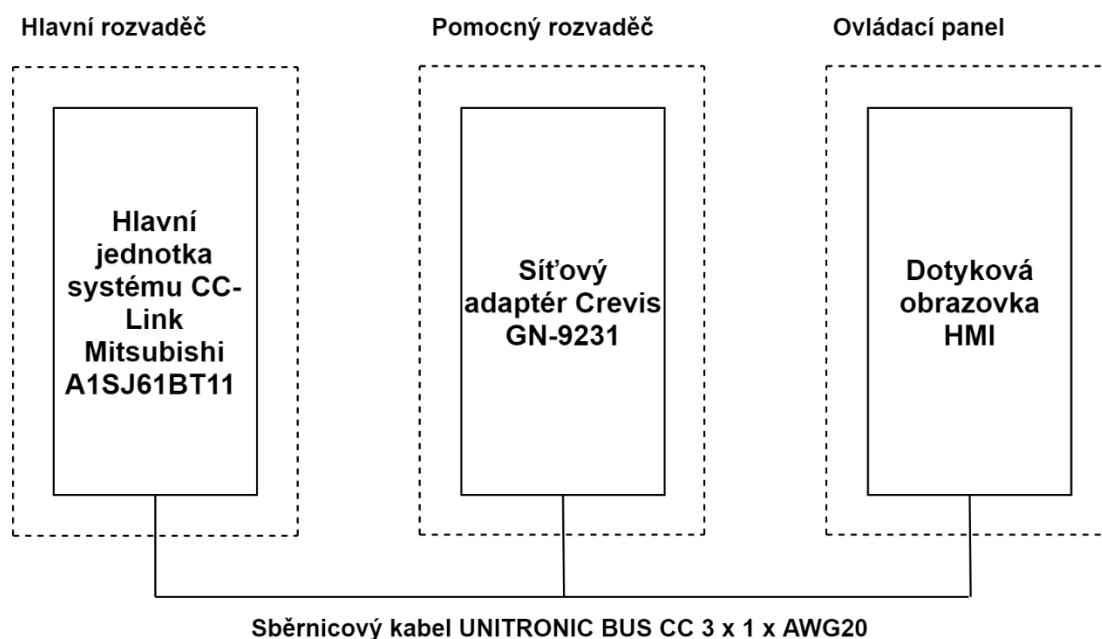
*Tabulka 9 – Vztahy mezi přenosovou rychlostí a vzdáleností [9]*

Přenosová rychlost	Maximální kabelová vzdálenost
156kbps	1200m
625kbps	900m
2,5kbps	400m
5kbps	160m
10kbps	100m



## 2.2. Struktura komunikujících komponentů

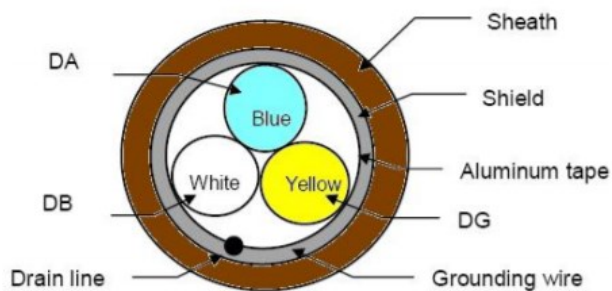
Strukturu a propojení jednotlivých komponent je možné vidět na obrázku níže (Obrázek 11 – Propojení komponent). Patří zde hlavní jednotka systému CC-Link Mitsubishi nacházející se v hlavním rozvaděči. Tato jednotka je nastavena jako Master station, což znamená, že řídí ostatní (podřízené) jednotky v síti, kterými jsou dotyková obrazovka HMI na předním ovládacím panelu a nově také síťový adaptér Crevis z pomocného rozvaděče.



Obrázek 11 – Propojení komponent

Pro propojení vzdáleného síťového adaptéru Crevis a hlavní jednotky systému CC-Link v hlavním rozvaděči byl použit sběrníkový kabel UNITRONIC BUS CC 3 x 1 x AWG20 od společnosti Lapp Kabel, jehož strukturu je možné vidět na obrázku níže (Obrázek 12 – Popis UNITRONIC BUS CC [6]).

Kabel použitý pro systém CC-Link musí splňovat jistá kritéria, jedním z nich je takové, že se musí jednat o tzv. STC – shielded twisted cable, další z nich patří do skupiny sekundárních parametrů vedení, kterým je charakteristická impedance rovna 110  $\Omega$ .



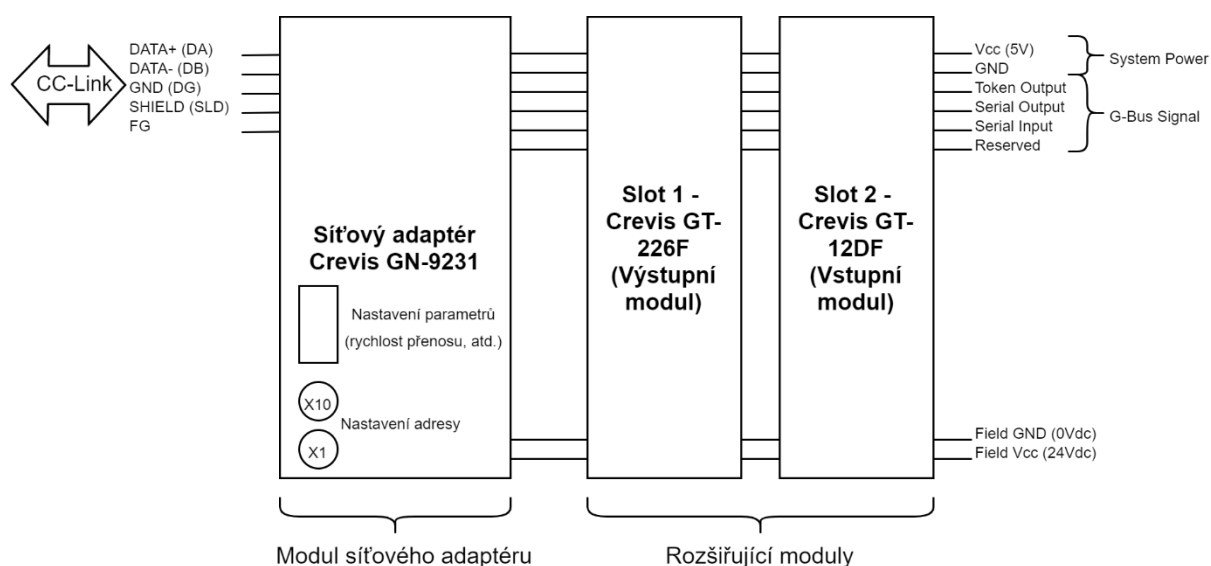
Obrázek 12 – Popis UNITRONIC BUS CC [6]



Zde (Obrázek 13 – Struktura Crevis komponentů) je popsána struktura Crevis komponentů v pomocném rozvaděči. Jako řídicí jednotka tady slouží síťový adaptér Crevis GN-9231. Komunikace s tímto modulem je zprostředkována pomocí komunikačního standardu CC-Link, jehož druhý konec je spojen s hlavní jednotkou systému CC-Link Mitsubishi propojené s PLC nacházející se v hlavním rozvaděči. Ve spodní části tohoto modulu se nachází přepínač pro nastavení parametrů (rychlost přenosu atd.) a dva otočné přepínače pro nastavení adresy.

Komunikace mezi modulem síťového adaptéru a jeho rozšiřujícími moduly je realizována prostřednictvím vnitřní sběrnice G-Bus, jejíž piny jsou popsány v Tabulka 10 – Popis pinů G-Bus [6]. Dále se mezi nimi přenáší systémové napájení modulů (5V) a napájení pro vstupní a výstupní signály (24V).

Maximální počet rozšiřujících modulů je omezen na 63 slotů. V této práci se použili pouze dva, mezi které patří v prvním slotu výstupní modul Crevis GT-226F (obsluha pneumatických ventilů) a ve druhém slotu vstupní modul Crevis GT-12DF (příjem signálů ze senzoru).



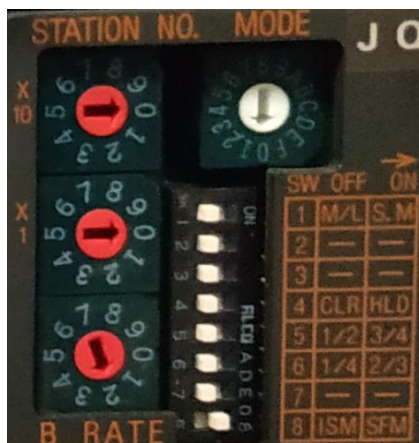
Obrázek 13 – Struktura Crevis komponentů [6]

Tabulka 10 – Popis pinů G-Bus [6]

No.	Name	Description
1	Vcc	System supply voltage (5Vdc)
2	GND	System Ground
3	Token Output	Token output port of Processor module
4	Serial Output	Transmitter output port of Processor module
5	Serial Input	Receiver input port of Processor module
6	Reserved	Reserved for bypass Token
7	Field GND	Field Ground
8	Field Vcc	Field supply voltage (24Vdc)

### 2.3. Nastavení hlavní jednotky systému CC-Link Mitsubishi A1SJ61BT11 v hlavním rozvaděči

Číslo této jednotky je zde nastaveno na hodnoty 0 pro x10 a 0 pro x1. Takovéto nastavení přísluší hlavní stanici – Master Station. Přepínač pro nastavení přenosové rychlosti (Baudrate) je zde nastaven na hodnotu dvě, což odpovídá rychlosti na 2.5Mbps. Dále je zde přepínač módu, který je v hodnotě nula. Tato pozice značí že je stanice v módu online, který se používá při datovém spojení v režimu vzdálené sítě.



Obrázek 14 – Přepínače pro nastavení parametrů

### 2.4. Nastavení síťového adaptéru Crevis GN-9231 v pomocném rozvaděči

Pro správné nastavení síťového adaptéru GN-9231, bylo třeba nakonfigurovat adresu uzlu pomocí dvou otočných přepínačů a provést nastavení na dvoupolohovém přepínači.

První otočný přepínač nám nastavuje násobky desíty, kdežto druhý násobky jednotek. Pro tento síťový adaptér byla nastavena adresa na prvním přepínači 0 a na druhém 4, tudíž je adresa 4.

Na přepínačovém panelu bylo třeba nastavit stejnou přenosovou rychlost (Baudrate) jako na hlavní jednotce Mitsubishi A1SJ61BT11, jejíž hodnota je 2.5Mbps. Také se zde nastavuje pomocí šestého přepínače funkce, prostřednictvím které se vymažou data na výstupu při vyskytnutí chyby.



Obrázek 15 – Přepínače pro nastavení parametrů

### 3. Návrh a implementace řízení pro PLC

Návrh programu probíhal tak, že se musel doplnit stávající kód, uložený v hlavní jednotce PLC Mitsubishi A1SJHCPU o nové funkce. Jelikož byl stávající program vcelku obsáhlý, následovala jeho pečlivá analýza. Dále se sestavil návrh procesu pro automatický režim pomocí UML diagramu, konkrétně podle diagramu aktivit (Obrázek 17 – Diagram aktivit (automatický režim)), ve kterém je jasně vidět jednotlivý postup vykonávání základní sekvence do testovací patice. Dále se podle navrženého procesu vytvořil PLC program pomocí grafického programovacího jazyku Ladder diagram (LD), který je mimo jiné popsán v IEC 61131 část 3, která se zabývá programovacími jazyky.

#### 3.1. Ladder Diagram podle normy IEC 61131-3

Norma IEC 61131-3 Programovatelné řídicí jednotky – Část 3: Programovací jazyky pojednává o datových typech a programovacích jazycích používaných v programovatelných logických automatech [14], kterými jsou:

- Ladder Diagram (LD), grafický
- Function block diagram (FBD), grafický
- Struktured text (ST), textový
- Instruction list (IL), textový
- Sequential function chart (SFC), grafický

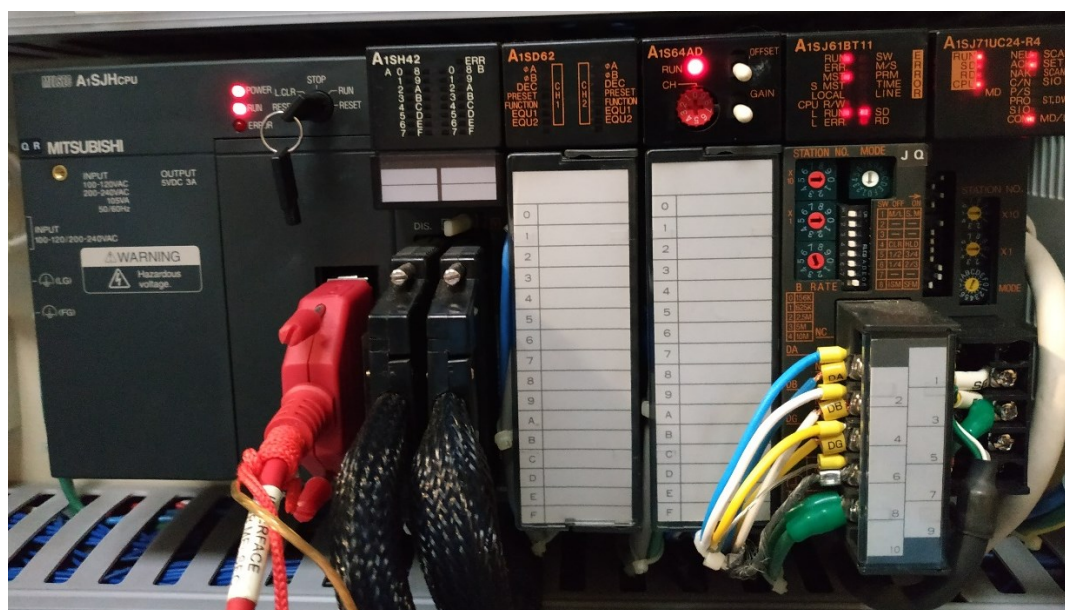
V této práci je zaměřena pozornost na grafický programovací jazyk Ladder diagram. Jedná se o jazyk nejnižší úrovně, vhodný pro základní logické úlohy. Jeho anglický název vychází z jeho skutečné podoby, která připomíná žebřík (ladder) [15]. Po stranách se nachází svislé osy, které znázorňují napájecí napětí. Mezi nimi se nachází horizontální osy, ve kterých je implementována řídicí logika. Ladder diagram [16] se skládá z jednotlivých sítí (networks), které zahrnují grafické prvky – spojení, vedení, proměnné, konstanty, kontakty a cívky.

Pomocí kontaktů (otevřených, zavřených, s náběžnou nebo sestupnou hranou) se vytváří logika, která spojuje nebo rozpíná obvod směřující k ovládací cívce (výstupu). Kontakty mohou být napojeny napřímo ke vstupům z ovládacího zařízení. Vstupy je možno chápat jako např. tlačítka nebo spínače, nebo to také mohou být stavy proměnné vnitřní paměti. Cívka může reprezentovat fyzický výstup, který ovládá konkrétní zařízení nebo opět také stav vnitřní paměti.

Výhody tohoto jazyka jsou takové, že je velmi intuitivní a efektivně zde lze reprezentovat logické funkce (AND, OR, atd.). Naproti tomu nevýhodou je zde slabá datová struktura, obtížené vyjádření aritmetických operací a analogových veličin.

### 3.2. Hardwarová konfigurace

Základem celého systému je programovatelný automat značky Mitsubishi, konkrétně se jedná o typ A1SJHCPU. Dalšími připojenými moduly jsou vstupní/výstupní modul, jednotka vysokorychlostního čítače, analog/digital převodník, hlavní síťová jednotka systému CC-Link a komunikační modul. Vizuálně jsou vidět na následujícím obrázku (Obrázek 16 – Hlavní jednotka PLC a její moduly) a dále jsou podrobně sepsány v tabulce pod obrázkem (Tabulka 11 – Hardwarová konfigurace).



Obrázek 16 – Hlavní jednotka PLC a její moduly

Tabulka 11 – Hardwarová konfigurace

Název	Popis
Mitsubishi A1SJHCPU	PLC
Mitsubishi A1SH42S1	I/O modul
Mitsubishi A1SD62	Vysokorychlostní čítač
Mitsubishi A1S64AD	A/D převodník
Mitsubishi A1SJ61BT11	Hlavní jednotka systému CC-Link
Mitsubishi A1SJ71UC24-R4	Komunikační modul

### 3.3. Proměnné

V následující tabulce (Tabulka 12 – Tabulka proměnných) jsou uvedeny pomocné proměnné, použité v doplněném PLC programu. Jsou zde uvedeny i pomocné proměnné pro rezervní řídicí ventily SMC. Pro ovládání ventilů byla použitý datový typ Bool, jež může nabývat pouze dvou stavů, logické 0 (vypnuto) a logické 1 (zapnuto). Pro uchování hodnoty aktuálního kroku je použit datový typ Word.

*Tabulka 12 – Tabulka proměnných*

Adresa	Datový typ	Tag	Popis
M1200	Bool	SliderActivateH1	Aktivace SMC válce CD55B32 – Přípravek 1
M1201	Bool	SliderDeactivateH1	Deaktivace SMC válce CD55B32 – Přípravek 1
M1202	Bool	ElevatorActivateH1	Aktivace SMC válce MXZ12 – Přípravek 1
M1203	Bool	ElevatorDeactivateH1	Deaktivace SMC válce MXZ12 – Přípravek 1
M1204	Bool	FixActivateH1	Aktivace SMC válce CDQ2A16 – Přípravek 1
M1205	Bool	FixDeactivateH1	Deaktivace SMC válce CDQ2A16 – Přípravek 1
M1206	Bool	SliderActivateH2	Aktivace SMC válce CD55B32 – Přípravek 2
M1207	Bool	SliderDeactivateH2	Deaktivace SMC válce CD55B32 – Přípravek 2
M1208	Bool	ElevatorActivateH2	Aktivace SMC válce MXZ12 – Přípravek 2
M1209	Bool	ElevatorDeactivateH2	Deaktivace SMC válce MXZ12 – Přípravek 2
M1210	Bool	FixActivateH2	Aktivace SMC válce CDQ2A16 – Přípravek 2
M1211	Bool	FixDeactivateH2	Deaktivace SMC válce CDQ2A16 – Přípravek 2
M1212	Bool	ReserveActivateH1	Rezerva
M1213	Bool	ReserveDeactivateH1	Rezerva
M1214	Bool	ReserveActivateH2	Rezerva
M1215	Bool	ReserveDeactivateH2	Rezerva
M1228	Bool	MachineStartH1	Start levé části
M1229	Bool	MachineStartH2	Start pravé části
D600	Word	StepNumberH1	Aktuálního krok programu pro levou část
D601	Word	StepNumberH2	Aktuálního krok programu pro pravou část

### 3.4. Princip programu

Princip programu této aplikace se dá prakticky rozdělit na dva režimy – automatický a manuální.

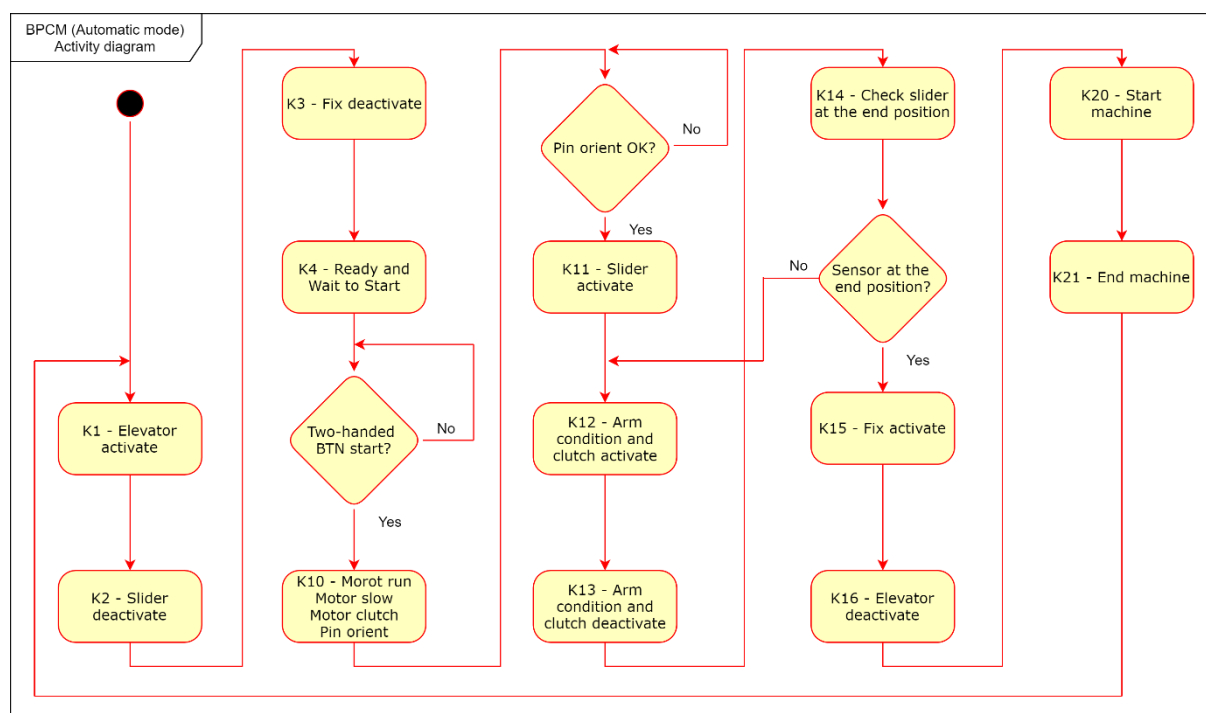
#### Manuální režim

Při přepnutí do manuálního režimu se pomocí operátorského panelu dají ovládat jednotlivé pneumatické válce na testovacím přípravku. To se obzvlášť hodí při údržbě stroje nebo při řešení nějaké chybové situace.

#### Automatický režim

Při výběru automatického režimu a aktivaci bezpečnostního obouručního ovládání se spustí sekvence jednotlivých kroků, které ve výsledku vedou k otestování brzdného systému vnitřní převodovky.

Sekvence probíhá tak, že se nejprve čeká na návrat do domácí polohy. Po jejím návratu se aktivuje pneumatický válec, který přivede přední část lůžka do vrchní polohy. Dále se deaktivuje válec, pomocí kterého nám přijede pohyblivé lůžko po kolejnicích a také se deaktivuje válec pro aretaci převodovky v lůžku. V této fázi je přípravek připraven na osazení testovacím kusem, jeho správným natočením a spuštěním pomocí obouručního ovládání. Po spuštění testovací sekvence pokračuje tím, že si zjistí polohu pinu na patici. To udělá tak, že spustí otáčení motoru v pomalém režimu a jakmile laserový senzor Keyence určí polohu pinu zastaví otáčení motoru a spustí příjezd lůžka s převodovkou k patici. Dále se aktivuje rameno, které zajistí páku brzdy a aktivuje se proces nasunutí náboje do třech výřezů v otáčivé ose. Po skončení procesu se pomocí indukčního senzoru na vzduchovém válci ověří zda je lůžko na své pozici, pokud není tak se proces s nasunutím náboje opakuje. Jestliže je však vše správně, následuje krok další, který zaaretuje převodovku v lůžku. Poté se už jen spustí přední část lůžka do spodní polohy a následuje spuštění testovací sekvence, která je naprogramována v původním programu. Po vykonání testování se otáčení osy zastaví a celý proces se opakuje.



Obrázek 17 – Diagram aktivit (automatický režim)

### 3.5. Struktura programu

Následující tabulku (Tabulka 13 – Struktura programu) chápeme jako strukturu programu, který má za úkol obsluhovat proces zakládání náboje.

Slider Manual má za úkol ovládání jednotlivých ventilů nacházejících se na nových testovacích přípravcích pomocí dotykové obrazovky HMI. Je rozdělen na levý a pravý testovací přípravek a také se zde nachází část pro rezervní vzduchové ventily. Struktura Slider Sequence je také rozdělena na levý (H1) a pravý (H2) přípravek a popisuje sekvenci pro vykonání automatického procesu založení náboje, který je popsán v předchozí kapitole (Princip programu). Slider Automat je obsluha pro spouštění procesu a resetování běhu stroje, spouštění procesu vrácení do domácí pozice a obsluha alarmů.

Tabulka 13 – Struktura programu

<b>Slider Manual</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Head1 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pneu Slider Control – Coil A</li> <li>○ Pneu Slider Control – Coil B</li> <li>○ Pneu Elevator Control – Coil A</li> <li>○ Pneu Elevator Control – Coil B</li> <li>○ Pneu Fix Control – Coil A</li> <li>○ Pneu Fix Control – Coil B</li> </ul> </li> <li>- Head2 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pneu Slider Control – Coil A</li> <li>○ Pneu Slider Control – Coil B</li> <li>○ Pneu Elevator Control – Coil A</li> <li>○ Pneu Elevator Control – Coil B</li> <li>○ Pneu Fix Control – Coil A</li> <li>○ Pneu Fix Control – Coil B</li> </ul> </li> <li>- Head1 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pneu Reserve Control – Coil A</li> <li>○ Pneu Reserve Control – Coil B</li> </ul> </li> <li>- Head2 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pneu Reserve Control – Coil A</li> <li>○ Pneu Reserve Control – Coil B</li> </ul> </li> </ul>	<b>Slider Sequence</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- H1 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wait for Home Return</li> <li>○ Elevator Activate</li> <li>○ Slider Deactivate</li> <li>○ Fix Deactivate</li> <li>○ Ready and Wait to Start</li> <li>○ Pin Orient</li> <li>○ Slider Activate</li> <li>○ Arm Condition and Clutch Activate</li> <li>○ Arm Condition and Clutch Deactivate</li> <li>○ Check slider at the End Position</li> <li>○ Fix Activate</li> <li>○ Elevator Deactivate</li> <li>○ Start Machine</li> <li>○ End Machine</li> </ul> </li> <li>- H2 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wait for Home Return</li> <li>○ Elevator Activate</li> <li>○ Slider Deactivate</li> <li>○ Fix Deactivate</li> <li>○ Ready and Wait to Start</li> <li>○ Pin Orient</li> <li>○ Slider Activate</li> <li>○ Arm Condition and Clutch Activate</li> <li>○ Arm Condition and Clutch Deactivate</li> <li>○ Check slider at the End Position</li> <li>○ Fix Activate</li> <li>○ Elevator Deactivate</li> <li>○ Start Machine</li> <li>○ End Machine</li> </ul> </li> </ul>
<b>Slider Automat</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Automat Stop H1</li> <li>- Automat Stop H2</li> <li>- Home Return H1</li> <li>- Home Return H2</li> <li>- Alarm H1</li> <li>- Alarm H2</li> </ul>	

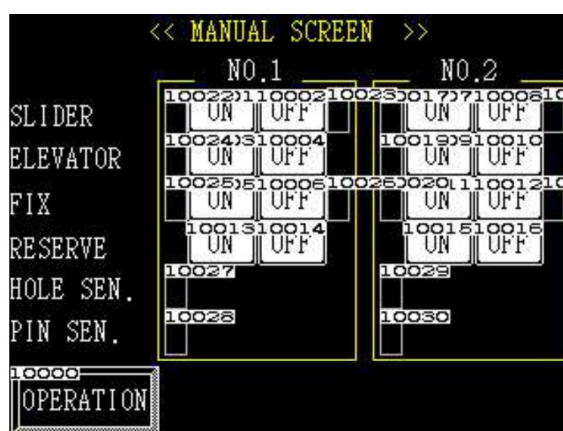


## 4. Návrh a realizace vizualizace

Vizualizace byla realizována přidáním několika dalších obrazovek, k již stávajícímu operátorskému panelu HMI Mitsubishi GOT1000. Přístup k jednotlivým obrazovkám a jejich ovládání není nijak uživatelsky omezeno.

### 4.1. Obrazovka manuálního ovládání

Na této obrazovce (Obrázek 18 – Obrazovka s manuálním ovládáním) je možnost manuálního ovládání. Jsou zde přepínače ON a OFF, které buď spínají anebo rozpínají ventily pro jednotlivé SMC válce na testovacím přípravku. Dále jsou vedle tlačítek kontrolní indikátory, pro zjištění, ve kterém stavu je daný ventil.



Obrázek 18 – Obrazovka s manuálním ovládáním

### 4.2. Obrazovka s počítadlem kusů

Na následujícím obrázku (Obrázek 19 – Obrazovka s počítadlem výroby) je vidět obrazovka s počítadlem výroby. Jsou zde dva sloupce, které reprezentují testovací přípravek 1 a 2. V sloupcích jsou vyobrazeny hodnoty s počtem kusů, které testem v pořádku prošly (OK samples), nevyhovující kusy (NC samples) a celkový počet testovaných kusů.



Obrázek 19 – Obrazovka s počítadlem výroby



## 5. Zhodnocení výsledků

Cílem této diplomové práce byl návrh a realizace poloautomatického zakládání do testovacího přípravku pracovní linky, která má za úkol ověřit správnost funkce brzdového systému převodovky s vnitřním řazením.

Úplně prvním krokem, před započítím jakýchkoliv prací, bylo třeba vypracovat předběžnou studii proveditelnosti. Tato studie zahrnuje popis projektu, popis očekávaného efektu po provedení úprav, orientační celkovou cenu, případná rizika projektu, časový plán (klíčové události + den začátku a skončení prací), alternativní možnosti, pokud se investice neschválí, a nakonec specifikace projektového týmu (popř. spolupráce s jiným oddělením).

Časový harmonogram byl sestaven následovně – schvalování investice, dokončení návrhu řešení, sestavení objednávky na potřebné díly (elektrické, mechanické), montáž navržených částí, aplikace změn po elektrické stránce + modifikace PLC, testování, použití v provozu a závěrečné hodnocení projektu.

Na začátku první kapitoly je popsán původní stav testovací linky a postup práce na ní. Jako další jsou zde popsány konstrukční návrhy a realizace změn vedoucích k cíli této práce. Jsou jimi dva shodné testovací přípravky, do kterých se vkládá ověřovaný kus, sestavení pomocného rozvaděče, do kterého jsou svedeny všechny elektrické senzory a pneumatické válce a jeho usazení do vnitřního prostoru linky a jako poslední je zde popsána realizace změn v hlavním rozvaděči umístěném v zadní části linky.

Ve druhé kapitole tohoto dokumentu je zpracován návrh a realizace komunikace mezi komponentami řídicího systému. Je zde popsán komunikační standard CC-Link, struktura komunikujících komponentů, fyzické propojení síťových jednotek kabelem Lapp UNITRONIC, jeho struktura, a nakonec nastavení přenosové rychlosti, její číselné označení a mód hlavní jednotky systému CC-Link Mitsubishi A1SJ61BT11 v hlavním rozvaděči a síťového adaptéru Crevis GN-9231 v pomocném rozvaděči.

Další kapitola je věnována návrhu a implementaci řízení pro PLC Mitsubishi A1SJHCPU. Nejdříve je stručně popsán programovací jazyk Ladder Diagram, který je uveden v normě IEC61131-3. Tento jazyk je použit v PLC programu této práce. Uvedená hardwarová konfigurace představuje výpis všech připojených řídicích modulů a jejich popis a hned v závěsu jsou zobrazeny použité pomocné proměnné v těle programu. Poslední dvě části jsou nejspíš nejdůležitější – vysvětlují princip a strukturu programu. Ve zkratce se jedná o režim manuální (ovládání jednotlivých pneumatických válců na testovacím přípravku) a automatický, který vykonává sekvenci jednotlivých kroků, zajišťujících správné

založení a otestování brzdy. Je zde také diagram aktivit, popisující graficky jednotlivé kroky vykonávající obsluhu zakládání.

Předposlední kapitola se zabývá doplněním několika obrazovek dotykového panelu HMI Mitsubishi, kterými jsou obrazovka manuálního ovládání a obrazovka s počítadlem kusů.

Zpracování dokumentace bylo zhotoveno formou elektro výkresů zapojení a pro SMC prvky je zhotoveno pneumatické schéma. Všechny tyto schémata jsou přiloženy v příloze.

Po dokončení prací na stroji a jeho následném testování se provedly na závěr ještě vizuální kontrola, z které vyvstal požadavek na výměnu/opravu poškozených a nevzhledných částí (kryt stroje, poškozené ochranné lino) a prvků bezpečnosti práce (odstávající ostré hrany bočních plechů, kryjící vnitřní prostor stroje). Celková časová náročnost praktických prací by se dala vyčíslit na necelé tři měsíce. Tuto dobu je možné zkrátit, pokud by objednané díly dorazily rychleji.

Přínos této práce je takový, že se zvýšila žádoucí produktivita práce na daném stroji, ulehčila se část předchozího postupu a zároveň se dokončily přípravy na budoucí plnou automatizaci testování ověřovaného náboje. Práce je také znovu aplikovatelná na další testovací stroje, což poměrně dost zkrátí dobu jejich odstavení, z důvodu provedení změn. Dále vidím přínos v obohacení mé osoby cennými zkušenostmi a znalostmi nabytými v průběhu vypracovávání této práce.

## 5.1. Srovnání efektivity

Srovnání efektivity (Tabulka 14 – Porovnání dat před a po provedení změn) proběhlo pomocí firemního systému Status monitoring, který umožňuje vykreslit záznam z osmihodinové směny na stroji před a po provedení změn. Při prvním pohledu na oba grafy (Obrázek 20 – Graf výkonnosti před provedením změn a Obrázek 21 – Graf výkonnosti po provedení změn) a výsledné hodnoty je patrné, že se efektivita po provedení změn zvýšila.

Při porovnání parametru MRUN, který nám reprezentuje, kolik procent byl stroj po dobu osmihodinové směny v běhu, je vidět, že před provedením změn dosahoval stroj horších výsledků (64%) než po změně (91%).

Parametr TotalCntr/Scrap udává, jaký je celkový počet otestovaných kusů za osmihodinovou směnu a počet kusů, které testem neprošly – před změnou 272/0, po změně 516/0.

Parametr CT average udává, jaký je potřebný průměrný čas ke kontrole jednoho kusu v sekundách – před změnou 67,36, po změně 50,78.

Parametr pcs/min udává, jaký je počet otestovaných kusů za minutu – před změnou 0,89, po změně 1,18.

*Tabulka 14 – Porovnání dat před a po provedení změn*

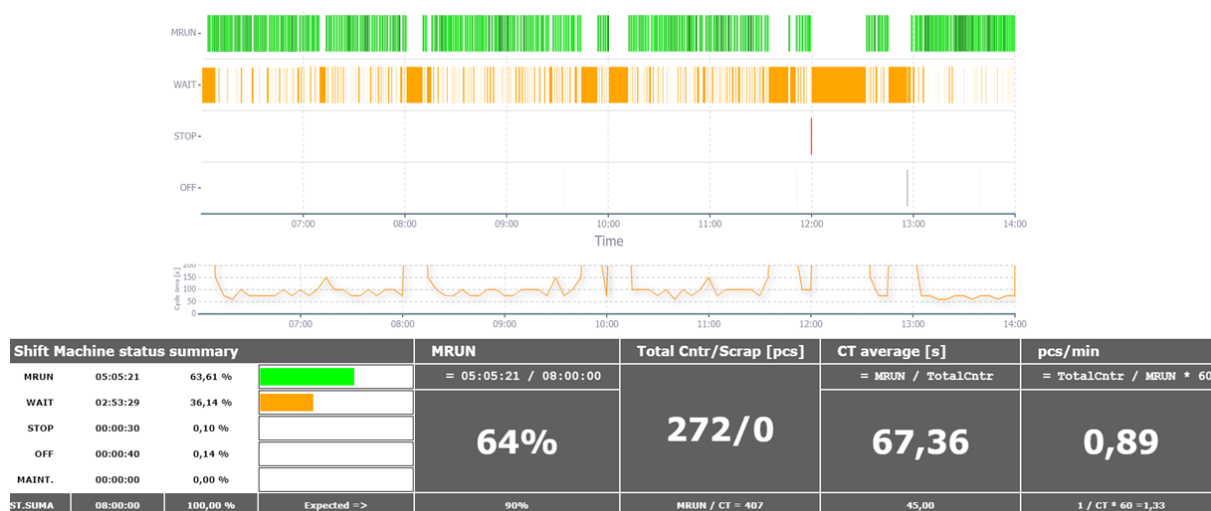
	<b>Před změnou</b>	<b>Po změně</b>
<b>MRUN [%]</b>	64	91
<b>Total Cntr/scrap [pcs]</b>	272/0	516/0
<b>CT average [s]</b>	67,36	50,78
<b>pcs/min [-]</b>	0,89	1,18

## Grafické znázornění výkonosti před provedením změn



Obrázek 20 – Graf výkonnosti před provedením změn

## Grafické znázornění výkonosti po provedení změn



Obrázek 21 – Graf výkonnosti po provedení změn

## 5.2. Srovnání výsledného postupu práce

Srovnání výsledného postupu práce bylo provedeno porovnáním jednotlivých úkonů operátora při testování jednoho kusu vnitřní brzdy. Po analyzování těchto kroků a jejich vypsání do tabulky (Tabulka 15 – Srovnání výsledného postupu práce) je vidět, že počet kroků se nesnížil a ani nezvýšil, což na první pohled nevypadá moc dobře.

Nicméně, protože se vyřadil krok, kdy operátor namáhavě a časově neúspěšně vyhledával polohu pro zapadnutí do patice, snížil se celkový potřebný čas celého procesu a dále umožnil, aby mohli tuto linku obsluhovat také ženy.

*Tabulka 15 – Srovnání výsledného postupu práce*

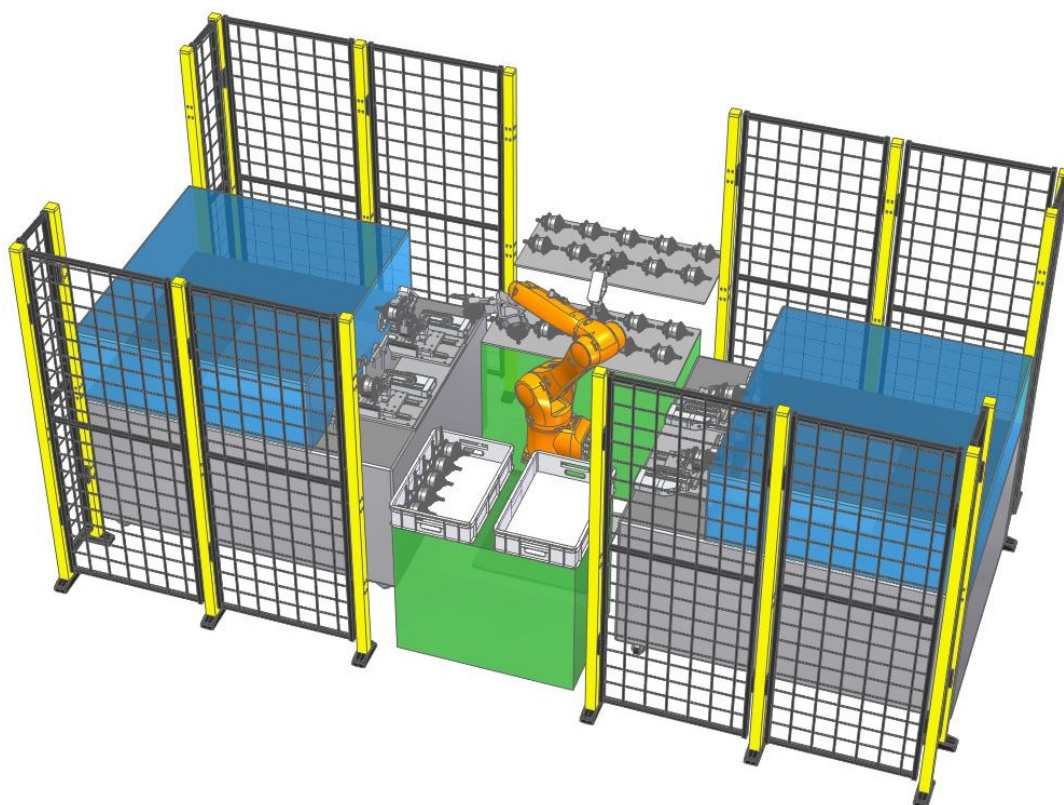
Číslo kroku	Před změnou	Po změně
1	Načtení kódu pomocí kamery	Načtení kódu pomocí kamery
2	Manuální nalezení správné pozice v patici	Založení testovaného kusu do lůžka
3	Zasunutí dorazu pomocí madla na převodovku	Otočení páky vnitřní brzdy doleva na podpěru
4	Otočení páky vnitřní brzdy doleva na podpěru	Pootočení kusu a vyhledání díry v závislosti na signalizačním světle zesilovače optického vlákna FS-N41C
5	Spuštění procesu pomocí obouručního ovládání	Spuštění procesu pomocí obouručního ovládání
6	Po dokončení procesu se vysune doraz pomocí madla z převodovky a poté se kus vytáhne	Po dokončení procesu se testovaný kus vyjme z lůžka tak, že se pootočí páka vnitřní brzdy do svislé polohy a poté se kus vytáhne

### 5.3. Případný návrh dalšího postupu

Současná poloautomatická verze je vlastně jakási předpříprava pro budoucí plán pro celkovou automatizaci tohoto testovacího stroje. Jako případný návrh pro rozšíření této práce by mohlo být to, že místo operátora by fungoval šesti kloubový průmyslový robot naprogramovaný pro obsluhu dvou naproti sobě stojících testovacích linek, přičemž by si nové i otestované kousky bral sám z okolo postavených boxů. Takto použitý robot by dokázal operovat rovnou na čtyřech testovacích přípravních, kdežto nyní se na lince vystřídají tři operátoři za den.

Jako vstup by sloužily dvě patra po dvou řadách, ve kterých by byly umístěny náboje určené k testování, zatímco jako výstup by sloužili dvě přepravy, pohybující se po dopravníku, do kterých by se otestované kusy ukládaly k zařazení do dalšího procesu. Mezi vstupem a výstupem by operoval 6osý průmyslový robot, který by dokázal manipulovat s testovaným dílem. Z bezpečnostních důvodů by byl robot umístěn v plotové konstrukci v kombinaci se světelnými závory, aby se minimalizovalo riziko způsobení zranění, popř. vzniklé škody.

Možná podoba takto automatizovaného procesu je vizualizována na následujícím obrázku (Obrázek 22 – Možný návrh pro další vylepšení).



*Obrázek 22 – Možný návrh pro další vylepšení*

## Literatura

- [1] PETRUZELLA, Frank D. *Programmable Logic Controllers*. 5th Edition. New York: McGraw-Hill, 2017. ISBN 978-0073373843.
- [2] WILSON, M. *Implementation of Robot Systems: An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing*. Butterworth-Heinemann. 1st Edition (November 17, 2014). ISBN-13: 978-0124047334
- [3] ŠMEJKAL, Ladislav. *PLC a automatizace. 2. díl, Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-087-3.
- [4] BOYER, Stuart A. *Scada: Supervisory Control And Data Acquisition*. North Carolina: ISA, 2009. ISBN 978-1936007097.
- [5] RINALDI, John S. *OPC UA – Unified Architecture: The Everyman's Guide to the Most Important Information Technology in Industrial Automation*. [s.l.]: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016. ISBN 978-1530505111.
- [6] GN-9231 - Crevis US. *Crevis US – Modular Remote I/O Terminals and Vision Systems* [online]. Copyright © 2018 [cit. 25.03.2021]. Dostupné z: <https://crevis.us/product/gn-9231/>
- [7] GT-12DF – Crevis US. *Crevis US – Modular Remote I/O Terminals and Vision Systems* [online]. Copyright © 2018 [cit. 25.03.2021]. Dostupné z: <https://crevis.us/product/gt-12df/>
- [8] GT-226F – Crevis US. *Crevis US – Modular Remote I/O Terminals and Vision Systems* [online]. Copyright © 2018 [cit. 25.03.2021]. Dostupné z: <https://crevis.us/product/gt-226f/>
- [9] Mitsubishi A1SJ61BT11. *MITSUBISHI ELECTRIC Global website* [online]. Dostupné z: <https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plc/ib66721/ib66721o.pdf>
- [10] KEYENCE LR-ZB100C3P: Manual. *ManualShelf* [online]. Copyright © 2013 [cit. 25.03.2021]. Dostupné z: <https://www.manualshelf.com/manual/keyence/lr-zbxn-p-series/manual-english.html>
- [11] KEYENCE FS-N41C: Manual. *Emicorp* [online]. Copyright © 2011 [cit. 25.03.2021]. Dostupné z: <https://www.emicorp.com/images/items/docs/FS-N40-Manual.pdf>
- [12] CC-Link | O CC-Link | CC-Link Partner Association. *CC-Link Partner Association (CLPA)* [online]. [cit. 25.03.2021] Dostupné z: <https://eu.cc-link.org/cs/cclink/cclink>
- [13] ISO – ISO 15745-5:2007. *Industrial automation systems and integration — Open systems application integration framework — Part 5: Reference description for HDLC-based control systems* [online]. Copyright © All Rights Reserved [cit. 22.04.2021]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/42278.html>

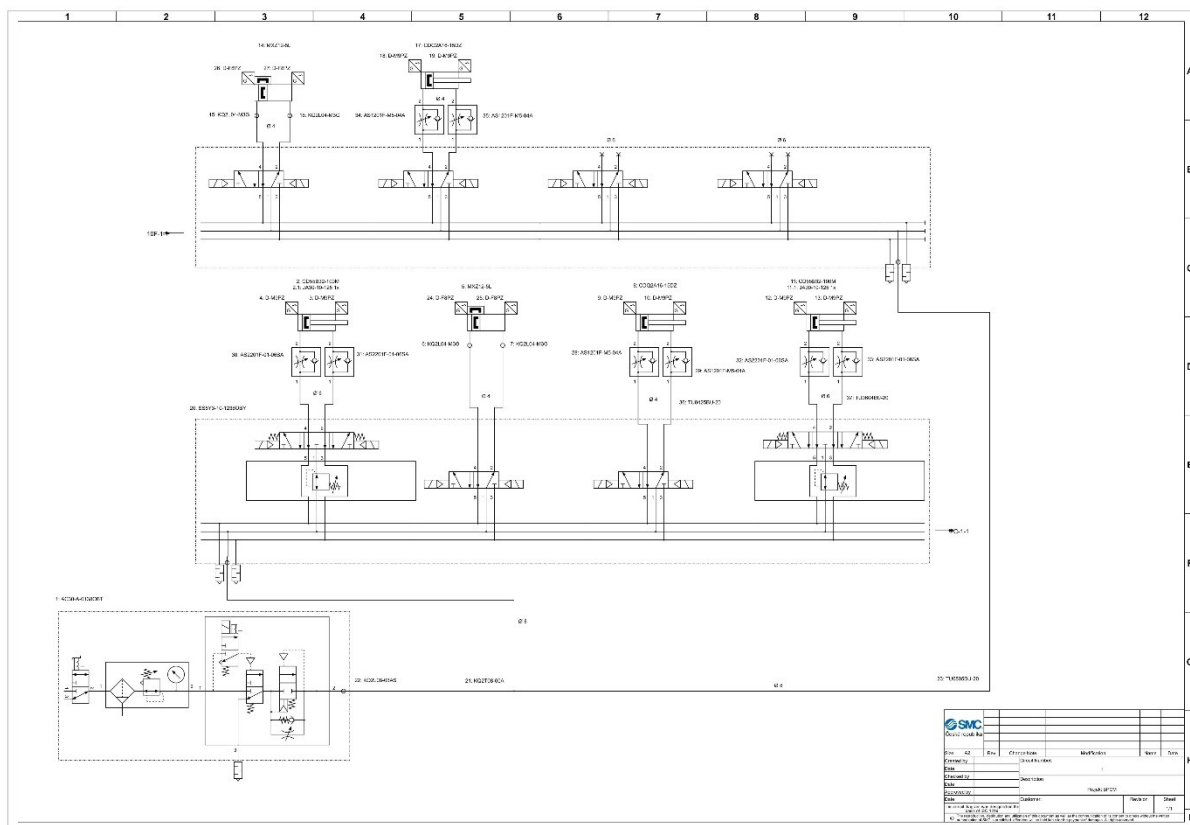
- [14] Automa – časopis pro automatizační techniku, s. r. o. *Programování PLC podle normy IEC EN 61131-3 – víc než jednotné jazyky* [online]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/programovani-plc-podle-normy-iec-en-61131-3-vic-nez-jednotne-jazyky-2005\\_02\\_30310\\_1237/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/programovani-plc-podle-normy-iec-en-61131-3-vic-nez-jednotne-jazyky-2005_02_30310_1237/)
- [15] “Ladder” Diagrams | Ladder Logic | Electronics Textbook. *All About Circuits – Electrical Engineering & Electronics Community*. [online]. Copyright © EETech Media, LLC. [cit. 24.04.2021]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/digital/chpt-6/ladder-diagrams/>
- [16] ČSN EN 61131-3 (187050). *Programovatelné řídicí jednotky – Část 3: Programovací jazyky*. Ed. 2. překlad: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 238 s.



## **Seznam příloh**

- Příloha I. Schéma SMC prvků v pomocném rozvaděči
- Příloha II. Elektro dokumentace EPLAN
- Příloha III. Doplnující fotografie

## Příloha I. Schéma SMC prvků v pomocném rozvaděči



Obrázek 23 – Schéma SMC prvků

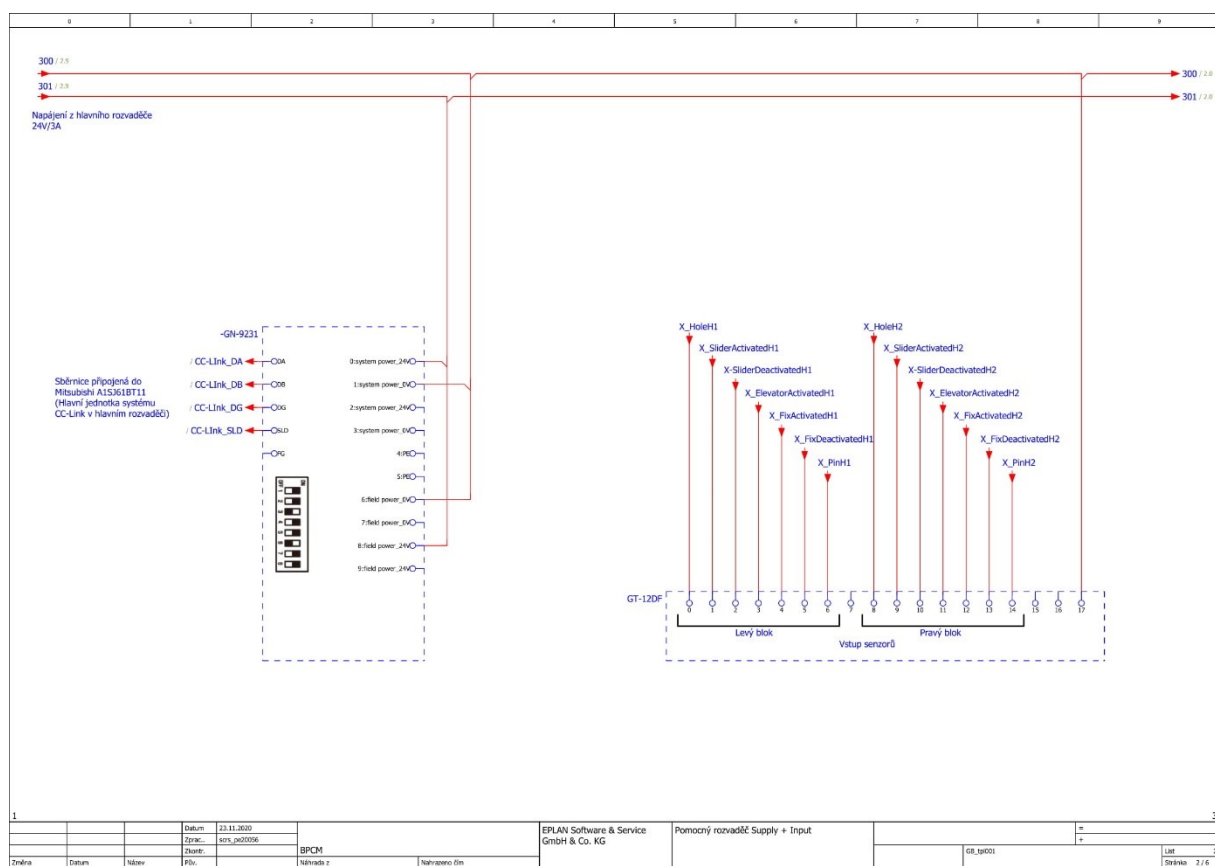
**EAE E-Kabin T Series**

**SMC Blok SS5Y3-10**

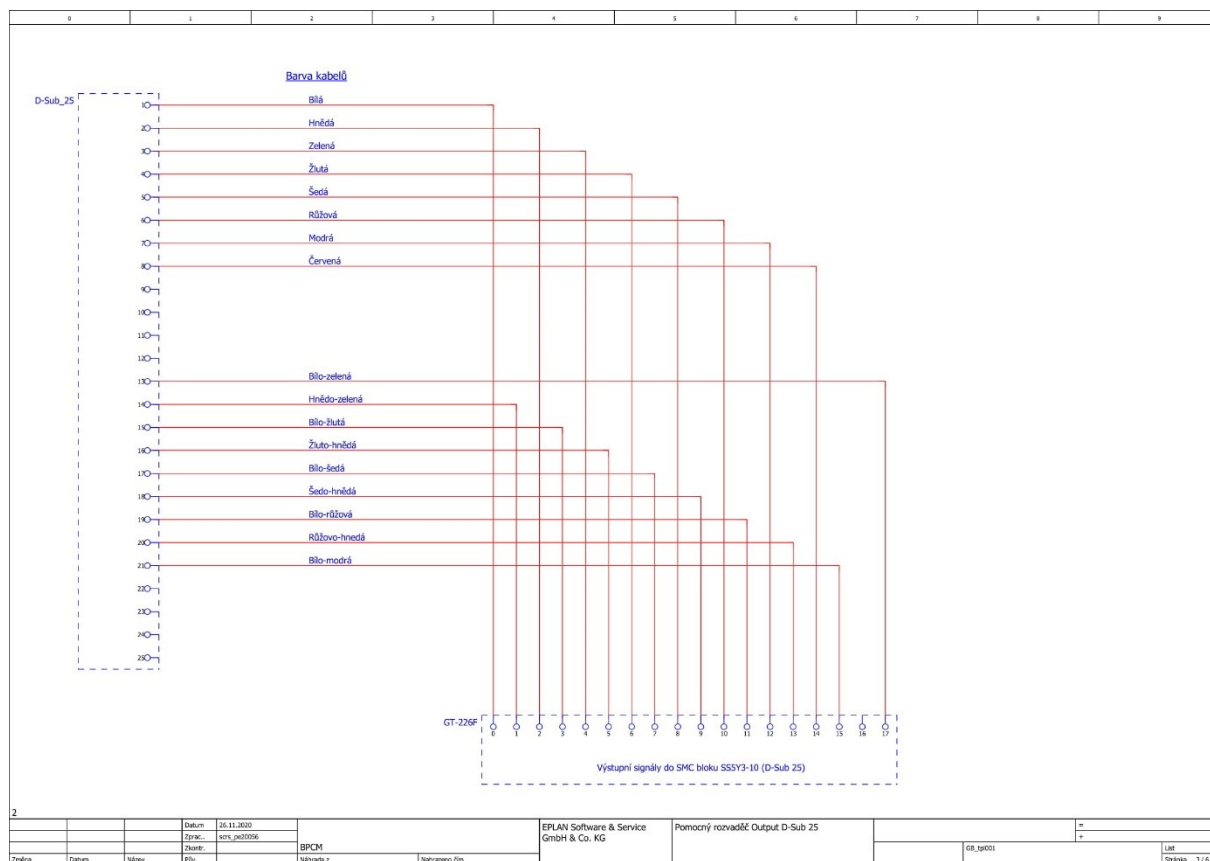
Dimensions:

- Total width: 300 mm
- Total height: 200 mm
- Main section width: 200 mm
- Left section width: 14 mm
- Middle section width: 54 mm
- Right section width: 14 mm
- Terminal block height: 100 mm
- Terminal block width: 7 mm

III

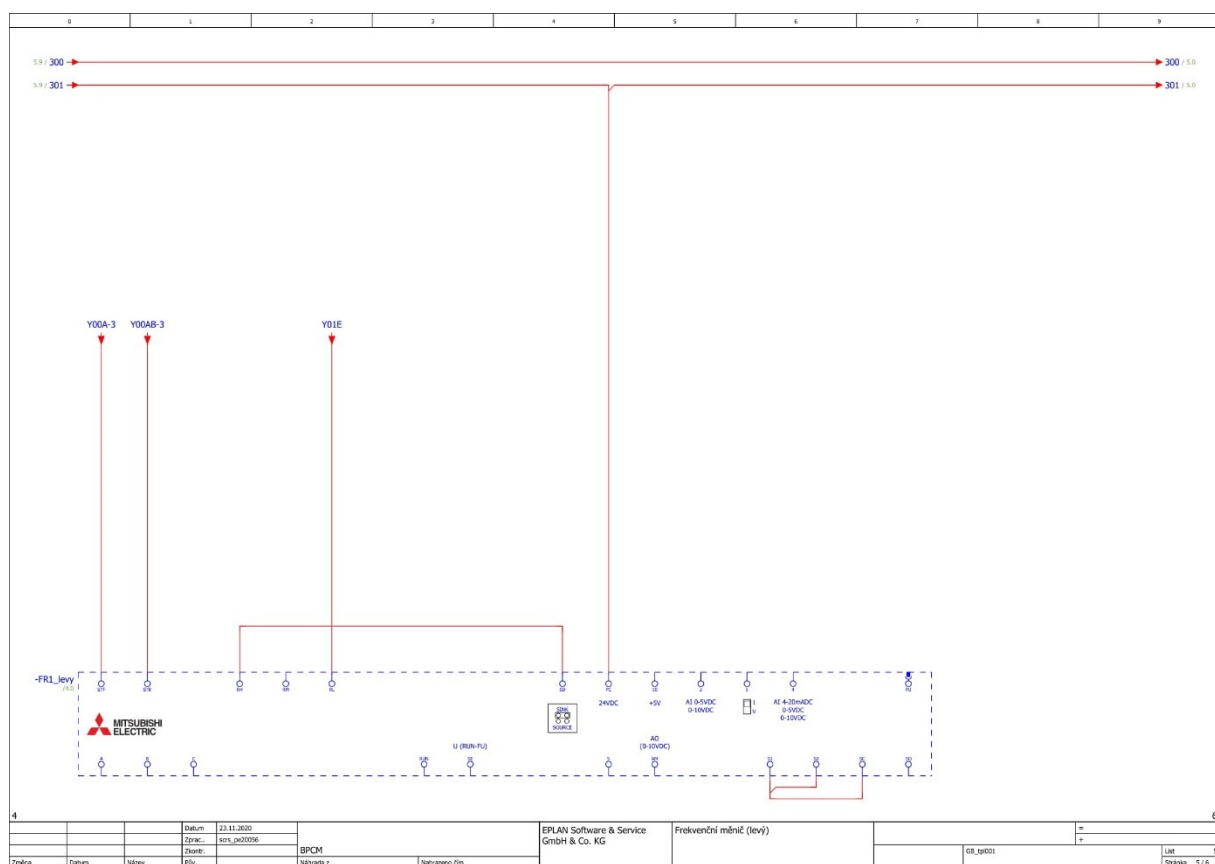


Obrázek 25 – EPLAN – Napájení pomocného rozvaděče + vstup do GT-12DF



Obrázek 26 – EPLAN – Výstupy z GT-226F do SMC bloku SSSY3-10 pomocí D-Sub



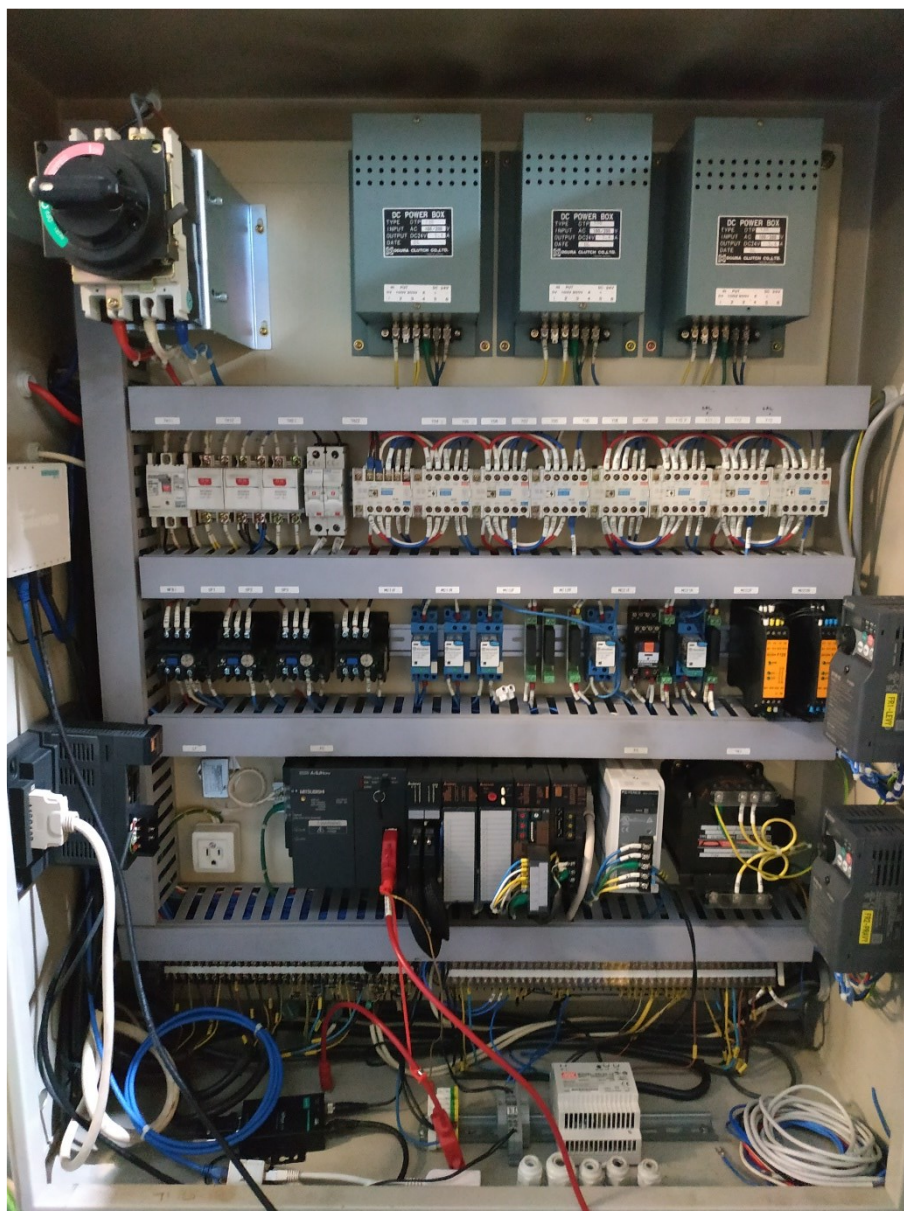


Obrázek 28 – EPLAN – Frekvenční měnič (levý) – řídicí signály

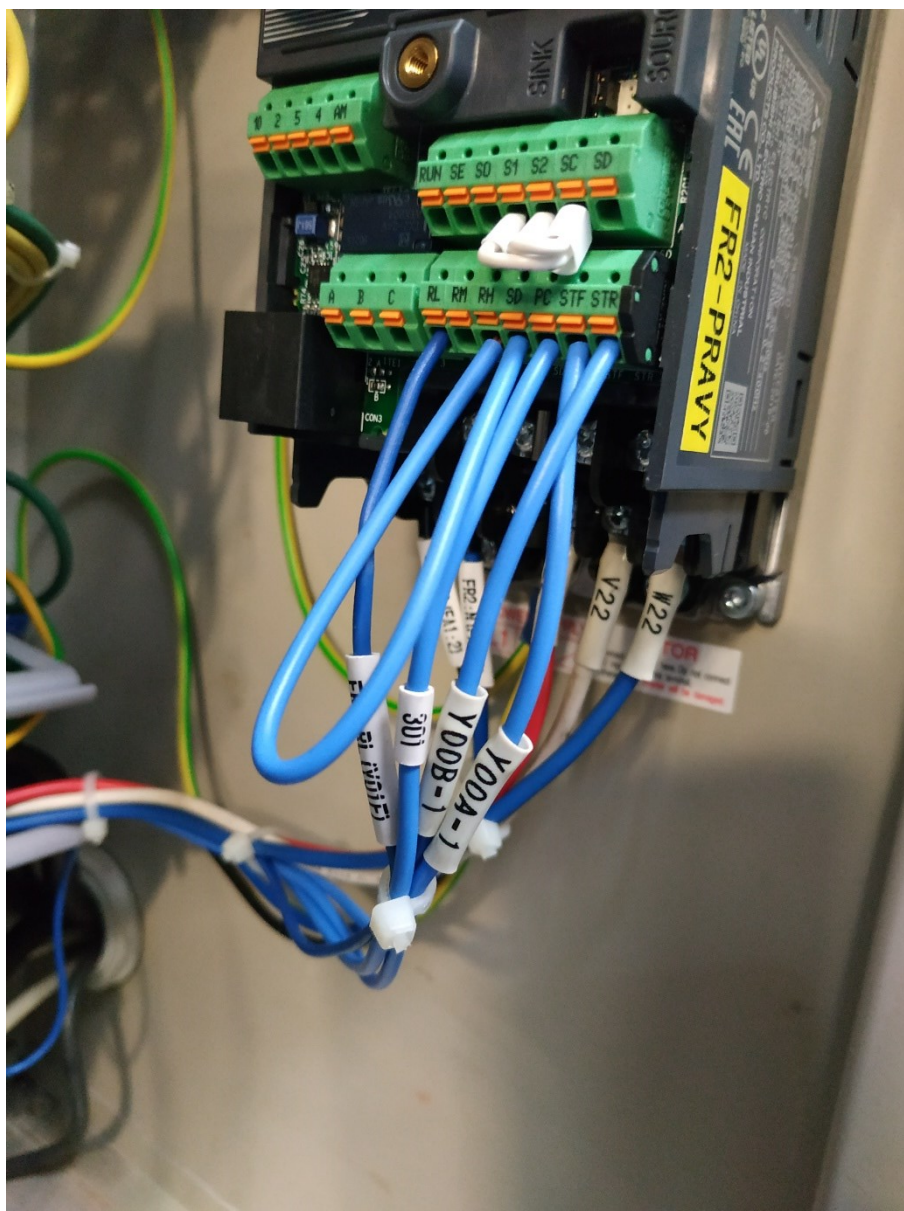




### Příloha III. Doplňující fotografie



Obrázek 30 – Hlavní rozvaděč v zadní části stroje



Obrázek 31 – Zapojené svorky frekvenčního měniče